

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Energiatekniikan koulutusohjelma / Automaatio- ja prosessitekniikka

Tommi Nakari

PUTKISTON SÄHKÖLÄMMITYKSET RÄJÄHDYSVAARALLISISSA TILOISSA

Opinnäytetyö 2013

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Energiatekniikan koulutusohjelma

NAKARI, TOMMI

Opinnäytetyö

Työn ohjaajat

Toimeksiantaja

Toukokuu 2013

Avainsanat

Putkiston sähkölämmitykset räjähdysvaarallisissa tiloissa

62 sivua + 28 liitesivua

Merja Mäkelä, Yliopettaja

Mika Pöyry, Technical Manager

L&T Recoil Oy

räjähdysvaarallinen tila, saattolämmitys, sähkölämmitys, sähkösaatto

Prosessiteollisuudessa putkistojen lämmittämiseen käytetään usein sähkösaattoja. Tarve työlle syntyi siitä, että L&T Recoil Oy halusi selkeyttää sähkösaattojärjestelmän toteutusta. Työn tavoitteena oli kehittää laitokselle ohje, eräänlainen laitosstandardi, johon kootaan tietoa laitoksella käytettävistä laitteista ja toimintatavoista. Haluttiin standardoida tietyissä kohteissa käytettäviä komponentteja ja työtapoja. Työn tarkoituksena on helpottaa sähkösaattosuunnittelijan työtä sekä järjestelmän kunnossapitoa ja ylläpitoa. Ohjeistusta voidaan myös päivittää sitä mukaa, kun laitosta kehitetään ja uusia tarpeita ilmenee.

Tietoa työhön on kerätty standardeista, laitetoimittajilta, oppikirjoista ja alaan liittyvistä lehtiartikkeleista. Ensin perehdyttiin sähkösaattojen perusteisiin ja suunnitteluun liittyviin asioihin. Lisäksi käsiteltiin räjähdysvaarallisiin tiloihin liittyviä vaatimuksia. Sähkösaattojärjestelmän käytännön toteutukseen perehdyttiin tutustumalla laitoksen järjestelmiin ja dokumentteihin.

Työn tuloksena syntyi L&T Recoil Oy:n käyttöön ohjeistus sähkösaattojen toteuttamista varten. Sitä voidaan käyttää tietopakettina sähkösaattojen toteuttamisesta ja laitoksen käytännöistä niin sähkösaattotöitä tekeville ulkopuolisille urakoitsijoille kuin laitoksen omalle henkilökunnalle. Myös standardoitavat kohteet ja kehitysehdotukset esitetään.

ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Energy Engineering

NAKARI, TOMMI

Bachelor's Thesis

Supervisors

Commissioned by

May 2013

Keywords

Electric Trace Heating of Pipelines in Hazardous Areas

62 pages + 28 pages of appendices

Merja Mäkelä, Principal Lecturer

Mika Pöyry, Technical Manager

L&T Recoil Oy

electric trace heating, hazardous area, heat tracing

Trace heating is widely used in process industries. Because of thermal losses it is often necessary to heat pipelines to keep the pumping liquid temperatures at a desired level. Sometimes process areas are located outdoors, which also causes extra need for trace heating.

When steam is cost-efficiently available, it may be possible to use it for trace heating in some applications. Also thermal fluids are used in trace heating systems. However, this thesis concentrates on electric trace heating, and the requirements faced when they are used in hazardous areas. Pipelines are heated by using electric trace heating cables which are attached between the surface of the pipe and the insulation. Especially, the maximum surface temperature of the heating cable is an important factor that needs to be in accordance with the hazardous area requirements.

This thesis was commissioned by L&T Recoil Oy, a re-refinery for used lube oil, which is located in the Port of Hamina. There was a need to clarify the implementation of the electric trace heating systems in the refinery.

This research work was carried out by investigating standards, materials from trace heating cable manufacturers, textbooks, and magazine articles of the field. Also materials provided by the used lube oil re-refinery and its staff are utilized.

As a result, this work can be used as an introduction material of the refinery's trace heating system for the outside contractors, as well as the refinery's own staff. Also the people in charge of the designing and maintenance of the trace heating system can use this work as a reference while updates and changes to the system are made.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	6
2	SÄHKÖSAATOT PROSESSITEOLLISUUDESSA	7
2.1	Sähkösaattojen suunnittelu	8
2.2	Mitoittaminen	9
2.2.1	Lämpöhäviöt	10
2.2.2	Lämpötilan nostotarve	12
2.2.3	Lämpöhäviöiden varmuuskerroin	14
2.2.4	Turvalliseksi mitoittaminen	14
2.2.5	Suunnitteluohjelman käyttö mitoittamisessa	16
2.3	Lämpöeristykset	16
2.4	Sähkölämmityskaapelit	19
2.4.1	Vakiovastuskaapelit	20
2.4.2	Rinnakkaisresistanssikaapelit	21
2.5	Sähkölämmityspiiri kokonaisuutena	24
2.5.1	Sähkösaattokeskus	26
2.5.2	Lämmityspiirin ohjaus ja säätö	27
3	RÄJÄHDYSVAARALLISET TILAT	30
3.1	Vaatimukset ja sähkölaitteiden valinta	31
3.2	Tilaluokitus	34
3.3	Räjähdyssuojusrakenteet	36
4	SÄHKÖSAATTOJEN TOTEUTTAMINEN RÄJÄHDYSVAARALLISISSA TILOISSA	38
4.1	Kaapelin valinta	38
4.2	Maksimilämpötilan määrittäminen	39
4.3	Laitteiden asentaminen	40
4.3.1	Järjestelmän maadoitus	41
4.3.2	Eristysvastusmittauksen suorittaminen	42

4.4	Laitteiden käyttöönotto ja koestuspöytäkirja	42
4.5	Laitteiden kunnossapito	43
4.6	Tarkastukseen ja huoltoon liittyviä asioita	43
4.7	Dokumentointi	44
5	SÄHKÖSAATOT KÄYTETYN VOITELUÖLJYN REGENEROINTILAITOKSELLA	46
5.1	Käytetyn voiteluöljyn regenerointilaitos	46
5.2	Laitoksen räjähdysvaaralliset tilat	47
5.3	Sähkösaattojärjestelmä	48
5.3.1	Laitoksella käytettävät kaapelit	49
5.3.2	Lämpöeristäminen	51
5.3.3	Saattopiirien ohjaus	51
5.4	Sähkösaattojen asennuskäytännöt, -suositukset ja -tyyppikuvat	54
5.4.1	Kaapeleiden kiinnittäminen	54
5.4.2	Lämpötila-anturien asentaminen	55
5.4.3	Läpiviennit	57
5.4.4	Asennuslevyn standardimalli	57
5.5	Kehityskohteet	58
6	YHTEENVETO	59
	LÄHTEET	60
	LIITTEET	
	Liite 1. Esimerkkejä regenerointilaitoksen sähkösaattoasennuksista	
	Liite 2. Asennustyyppikuvat: säätölähtö, itserajoittuva	
	Liite 3. Esimerkkejä saattokaapelin ryhmityspiirustuksista	
	Liite 4. Sähkösaattotaulukko	
	Liite 5. Laitoksella käytettävien kaapeleiden datalehtiä	
	Liite 6. Putken lämpöhäviötaulukko	

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö on tehty L&T Recoil Oy:n toimeksiannosta. Työn tarkoituksena on laatia laitoksen sisäinen ohje, laitosstandardi, sähkösaattojen toteuttamisesta laitoksella. Tavoitteena on, että työtä voidaan käyttää ohjeena niin laitoksen henkilökunnalle kuin ulkopuolisille sähkösaattotöitä tekeville urakoitsijoille.

Teollisen prosessin toiminnan takaamiseksi on tärkeää, että prosessiaineet ovat oikeassa lämpötilassa. Ulkona sijaitsevat prosessilaitteet, instrumentointi ja putkistot tarvitsevat vaihtelevien olosuhteiden ja lämpöhäviöiden vuoksi usein lämmitystä. Näihin tarkoituksiin voidaan käyttää esimerkiksi sähköä, höyryä tai lämmönsiirtonesteitä. Höyryn käyttäminen lämmityksessä tulee kyseeseen, jos tuotantoprosessista on saatavilla ylimääräistä höyryä ja sitä voidaan hyödyntää kustannustehokkaasti. Tässä työssä käsitellään sähköllä tapahtuvaa lämmitystä, jota kutsutaan myös sähkösaattamiseksi.

Sähkösaatto toteutetaan erilaisilla lämmityskaapeleilla, jotka kiinnitetään lämmitettävään kohteeseen. Putkistoja voidaan lämmittää ulkopuolelta tai sisäpuolelta. Prosessiteollisuudessa lämmityskaapelit kiinnitetään yleensä putken ulkopinnalle ja sisäpuolelta lämmitystä käytetään lähinnä vesijohtojen sulanapitoon. Oikean kaapelityypin valintaan vaikuttavat esimerkiksi tarvittava lämmitysteho, sähkösaattopiirin pituus ja saatettavan aineen ominaisuudet, kuten räjähdysvaarallisuus ja siitä seuraavat vaatimukset.

Valittaessa laitteita räjähdysvaarallisiin tiloihin on tärkeää tietää kohteessa olevat olosuhteet ja varmistaa, että laitteet soveltuvat niissä käytettäväksi. Saattolämmityksen osalta kaapelin maksimipintalämpötilan määrittäminen on tärkeimpiä asioita. Kaapelin pintalämpötilan rajoittaminen toteutetaan mitoittamiseen perustuen tai säätöteknisin keinoin. Joissakin kohteissa voidaan käyttää myös kaapelityyppejä, joiden rakenne rajoittaa korkeinta lämpötilaa.

L&T Recoil Oy on Ecostream Oy:n omistama tytäryhtiö, joka jalostaa käytetystä voiteluöljystä uuden voiteluaineen raaka-aineena käytettävää perusöljyä. Sivutuotteena prosessista saadaan polttoöljyä ja bitumia. Regenerointilaitos sijaitsee Haminan satamassa. Jalostamon alueella on paljon räjähdysvaarallisiksi luokiteltuja tiloja, joiden erityisvaatimukset täytyy ottaa huomioon instrumentoinnin suunnittelussa ja toteutuksessa.

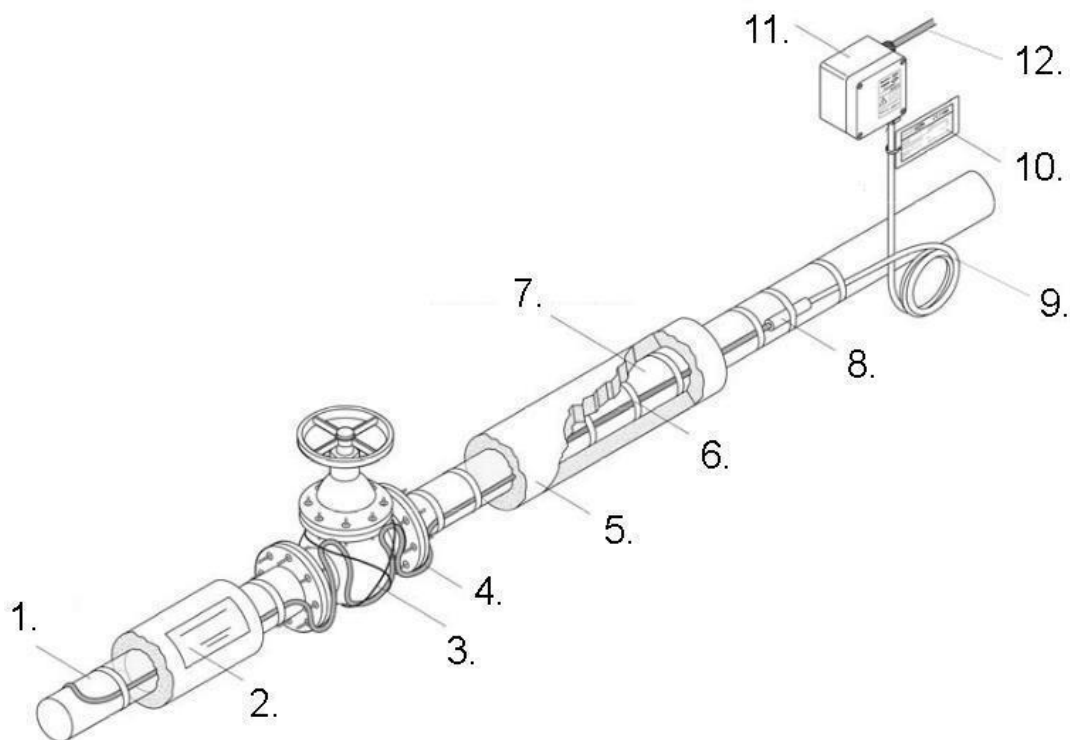
2 SÄHKÖSAATOT PROSESSITEOLLISUUDESSA

Saattolämmitystä käytetään moniin eri tarkoituksiin. Sitä voidaan käyttää esimerkiksi sulanapitoon, prosessiaineen lämpötilan ylläpitoon tai prosessiaineen lämpötilan nostoon. Putkistojen ja säiliöiden lämpöeristyksistä huolimatta aiheutuu lämpöhäviöitä, jotka saattolämmitykseen käytettävillä kaapeleilla pyritään kompensoimaan. Putkistossa virtaavasta nesteestä ja käyttökohteesta riippuen saattolämmityksellä pidetään yllä riittävää lämpötilaa muun muassa nesteen siirtämiseen, nesteen ominaisuuksien, kuten viskositeetin, optimoimiseen, sekä prosessin turvallisen alasajon varmistamiseen. (Gupta – Rafferty 1995, 104-105.)

Vesi ja runsaasti vettä sisältävät nesteet laajenevat jäätyessään ja voivat halkaista putken. Tämä on vaarana erityisesti putkiston kohdissa, joissa esiintyy normaalia suurempia lämpöhäviöitä, kuten venttiilien ja putkikannakkeiden kohdalla. Niiden kohdalle kiinnitetäänkin yleensä ylimääräistä lämmityskaapelia. (Gupta – Rafferty 1995, 104-105.) Halkeamisesta voi seurata turvallisuuden vaarantumista, tuotantotappioita ja omaisuusvahinkoja. Esimerkiksi hätäsuihkujen putkien jäätyminen voi aiheuttaa henkilövahinkoja. Jonkin prosessin kannalta olennaisen putkilinjan saattolämmityksen viikaantuminen voi pahimmassa tapauksessa johtaa tuotannon pysähtymiseen ja laiterikoihin. (Prosessilämpötilan ylläpito 11.2.2013.)

Lämpötilan ylläpitoa vaativat korkean viskositeetin omaavat aineet, kuten bitumi ja raskaat öljyt tarvitsevat tietyn lämpötilan pumppaamista varten. Pumppu saattaa vaurioitua käynnistämisyksivaiheessa, jos putkessa olevaa ainetta tai pumppua ei ole lämmitetty sopivaan lämpötilaan. Lisäksi putkistojen puhdistamiseen käytetään usein höyryä, jolla putket puhalletaan. Saattolämmitykseen käytettävien kaapeleiden tulee kestää höyrypuhalluksesta aiheutuva putken lämpötilan väliaikainen nousu.

Sähkösaattokaapelit kiinnitetään putken ulkopinnalle ja lämpöeristys asennetaan niiden päälle. Kuvassa 2.1. on hahmoteltu sähkösaattoasennusta periaatteellisella tasolla. Kaapelin kiinnittäminen putkeen voidaan toteuttaa lasikuituteipillä tai metalliverkolla. Kiinnitykseen voidaan käyttää myös kaapelinsuuntaista alumiiniteippiä. Lämmitykseen tarvittava sähkö tuodaan liitännärasiaan, josta lähtee kylmä kaapeliosuus eristeen sisään. Kylmäkaapeli puolestaan liitetään varsinaiseen lämmityskaapeliin. Kentällä sähkösaatetun putken tunnistaa sen päällä olevista varoituskylteistä.



Kuva 2.1. Yleiskuva sähkösaatosta. (Muokattu lähteestä Assembly and repair guide, 2.)

- | | |
|-----|--|
| 1. | Lämmitettävä putki |
| 2. | Varoituskyltti |
| 3. | Venttiilin kohdalla kaapelin kiinnitys usein metalliverkolla |
| 4. | Lämmityskaapeli |
| 5. | Lämpöeristys |
| 6. | Kiinnitys (lasikuituteippi alle 200 °C:n ja metalliverkko yli 200 °C:n lämpötiloissa) |
| 7. | Kiinnitys voi olla myös kaapelinsuuntainen alumiiniteippi (erityisesti säiliöiden lämmityksissä) |
| 8. | Lämmityskaapelin ja kylmän kaapelin liitos |
| 9. | Kylmäkaapeli, ohjauskaapeli (metalli- tai muovivaippainen) |
| 10. | Saattopiirin tiedot |
| 11. | Haaroitusrasia, kytkentärasia, liitántärasia |
| 12. | Sähkön syöttö |

2.1 Sähkösaattojen suunnittelu

Toimivien sähkösaattojärjestelmien suunnitteluun kohdistuu aina kohteesta riippuen erilaisia vaatimuksia. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry:n standardissa SFS-EN 60079-30-2 on lueteltu tarpeellisia lähtötietoja sähkösaattojen suunnittelua varten. Tiedot on koottu taulukkoon 2.1. Suunnittelun tulee täyttää näiden lähtötietojen vaatimukset, jotta toteutuksessa päästään asetettujen tavoitelämpötilojen ylläpitoon energiatehokkaasti, turvallisesti ja taloudellisesti.

Sähkösaattojärjestelmän kunnossapidon tulisi olla mahdollisimman tehokkaasti toteutettavissa ja siihen liittyvien prosessilaitteiden, kuten venttiileiden ja pumppujen, huoltotarve on otettava huomioon. Suunnittelussa täytyy myös huomioida, että saattolämmitysjärjestelmään liittyvät läheisesti muun muassa lämpöeristys ja laitoksella käytössä oleva sähkönsyöttöjärjestelmä. Mikäli kohteessa on räjähdysvaaralliseksi luokiteltuja tiloja, tulee niiden asettamat lisävaatimukset ottaa suunnittelussa huomioon. (SFS-EN 60079-30-2, 15.)

Taulukko 2.1. Sähkösaattosuunnitteluun tarvittavat lähtötiedot. (Koottu lähteestä SFS-EN 60079-30-2, 25.)

Prosessin tiedot	Putkistojen tiedot	Lämpöeristysvaatimukset ja -tiedot	Sähkötekniset tiedot
Tilaluokituksen dokumentit	Laitteiden sijoituspiirustukset (tasot, leikkaukset jne.)	Termisen suunnittelun parametrit	Sähköpiirustukset (pääkaaviot, piirikaaviot jne.)
Järjestelmän virtauskaavio	Putkistopiirustukset (tasot, isometrit, putkiluettelot jne.)	Lämpöeristeiden määrittelyt	Sähkölaitteiden määrittelyt
Laitteiden detaljipiirustukset (pumput, venttiilit, suodattimet yms.)	Putkimäärittelyt	Lämpöeristeiden luettelot	Laitedetaljit
Käytössä olevien kaasujen ja höyryjen syttymislämpötilat		Materiaaliluettelot	Laitteiden asennus- ja käyttöohjeet
Prosessin toiminnot, jotka voivat nostaa putkien lämpötilaa (esim. höyrypuhallukset tai lämpöä kehittävät reaktiot)			Laiteluettelot

2.2 Mitoittaminen

Saattojärjestelmien mitoittamisessa pyritään siihen, että lämmitysteho riittää lämpöhäviöiden korvaamiseen ja pitää yllä haluttua kohteen lämpötilaa. Jos saattolämmityksellä halutaan nostaa aineen lämpötilaa, voidaan laskentaan käyttää kaavoja 2.4 - 2.6. Lämpöhäviöiden laskemiseen käytettävien kaavojen avulla saadaan putkiston ja lämpöeristyksen häviöt määritettyä teoreettisesti. Käytännössä esimerkiksi eristeiden asennuksissa tapahtuvista poikkeamista ja venttiileistä, laipoista sekä pumpuista aiheutuvat häviöt täytyy ottaa huomioon. Se toteutetaan käyttämällä lämmitystarpeen

laskelmissa varmuuskertoimia, jotka määräytyvät kokemuspäisesti tai erilaisten taulukoiden avulla. (SFS-EN 60079-30-2, 15-18.)

2.2.1 Lämpöhäviöt

Yksinkertaistettuna lämpöhäviöt lasketaan kaavan 2.1 mukaisesti:

$$q = k \times \Delta T \quad (2.1)$$

q	lämpöhäviö putken pituusyksikköä kohti [W/m]
ΔT	halutun ylläpitolämpötilan (T_p) ja alimman suunnitellun ympäristön lämpötilan (T_a) välinen lämpötilaero Kelvin-asteina [K]
k	järjestelmän lämmönjohtavuuskerroin, vakio [W/(m*Kelvin)].

Kertoimen k tarkkuus riippuu järjestelmälle määriteltyjen parametrien tarkkuudesta. Parametreja ovat lämpöeristeen paksuus, koko, laatu ja keskimääräinen lämpötila sekä esiintyvien rajapintojen lämmönsiirtymiskertoimet. (SFS-EN 60079-30-2, 15-16.)

Yksityiskohtaisempi laskelma putken lämpöhäviöistä voidaan tehdä, jos käytössä on kaavan 2.2 mukaiset parametrit. Tarkemmassa tapauksessa kaava 2.1 muuttuukin seuraavanlaiseksi:

$$q = \frac{2\pi K(T_p - T_a)}{\ln\left(\frac{D_2}{D_1}\right)} \quad (2.2)$$

q	lämpöhäviö putken pituusyksikköä kohti [W/m]
K	sisemmän lämmöneristyksen lämmönjohtavuus keskimääräisessä lämpötilassa [W/(m*Kelvin)]
T_p	ylläpidettävä lämpötila [Kelvin]
T_a	ympäristön alin suunnittelulämpötila [Kelvin]
D_1	sisemmän eristyksen sisähalkaisija [m]
D_2	ulomman eristyksen ulkohalkaisija [m]. (SFS-EN 60079-30-2, 15-16.)

Jos putki on eristetty useammalla eristekerroksella, saadaan lämpöhäviön laskenta-kaavan tarkkuus paremmaksi seuraavasti:

$$q = \frac{(T_p - T_a)}{\frac{1}{\pi D_1 h_i} + \frac{\ln\left(\frac{D_2}{D_1}\right)}{2\pi K_1} + \frac{\ln\left(\frac{D_3}{D_2}\right)}{2\pi K_2} + \frac{1}{\pi D_3 h_{co}} + \frac{1}{\pi D_3 h_o}} \quad (2.3)$$

D_2	sisemmän eristyksen ulkohalkaisija [m] (tai ulomman eristyksen sisähalkaisija, mikäli se on käytössä)
D_3	ulomman eristyksen ulkohalkaisija [m] (mikäli se on käytössä)
K_1	sisemmän eristyksen lämmönjohtavuus keskimääräisessä lämpötilassa [W/(m*Kelvin)]
K_2	ulomman eristyksen lämmönjohtavuus keskimääräisessä lämpötilassa [W/(m*Kelvin)] (mikäli se on käytössä)
h_i	putken ulkopinnan ja sisemmän eristekerroksen (mikäli se on käytössä), sisäpinnan välinen lämmönsiirtymiskerroin [W/(m ² *Kelvin)]
h_{co}	ulomman eristyskerroksen ja säänsuojan välinen lämmönsiirtymiskerroin [W/(m ² *Kelvin)]
h_o	säänsuojan ja ympäröivän ilman välinen lämmönsiirtymiskerroin [W/(m ² *Kelvin)] (matalan lämpötilan, alle 50 °C, sovelluksissa tyypillinen vaihteluväli termillä on 5...50 W/(m ² *Kelvin)).

Monet sähkösaattotoimittajat julkaisevat putkiston lämpöhäviötaulukkoja ja käyrästöjä eri lämpötiloille ja eristeille. Ne saattavat myös sisältää lämpöhäviöiden varmuuskertoimet esimerkiksi venttiileille. Säiliön lämpöhäviöiden määrittäminen tarvitsee usein monipuolisempaa tarkastelua, jolloin kannattaa kääntyä sähkösaattotoimittajan puoleen ja hyödyntää heidän kokemustaan. (SFS-EN 60079-30-2, 16-17.)

Alla olevassa taulukossa on esimerkkinä osa putken lämpöhäviötaulukosta. Kokonainen taulukko on työn lopussa liitteenä. Taulukko esittää lasivillalla eristetyn metalliputken lämpöhäviöt, kun putkea ympäröivinä olosuhteina on huomioitu tuulen nopeus 9 m/s varmuuskertoimella 1,1. Taulukon käyttämiseen tarvitaan tiedot putken ylläpitolämpötilan ja ympäristön minimilämpötilan välisestä lämpötilaerosta ΔT , putkikoosta sekä eristemateriaalista. Eristemateriaalin vaikutus lämpöhäviöihin huomioidaan varmuuskertoimella (kts. taulukko 2.4.).

Taulukko 2.2. Putken lämpöhäviöt. (Raychem Oy, 1992.)

Eristepaksuus (mm)	ΔT (°C)	Putkikoko NS (mm) NS (tuumas) Ulkohal- kaisija (mm)	8 1/8	15 1/2	20 3/4	25 1	32 1 1/4	40 1 1/2	50 2
			14	21	27	34	42	48	60
20	20		4.0	4.6	5.3	6.2	7.3	8.0	9.5
	30		6.2	7.0	8.1	9.4	11.1	12.2	14.5
	40		8.3	9.5	10.9	12.7	15.0	16.5	19.6
	60		12.8	14.7	16.9	19.6	23.1	25.5	30.2
30	20		3.3	3.7	4.2	4.8	5.5	6.1	7.1
	30		5.0	5.6	6.3	7.3	8.4	9.2	10.8
	40		6.7	7.6	8.6	9.8	11.4	12.5	14.6
	60		10.3	11.7	13.2	15.1	17.6	19.2	22.5
	80		14.2	16.0	18.2	20.8	24.1	26.4	30.9
	100		18.3	20.7	23.4	26.8	31.1	34.1	39.8
	120		22.7	25.6	29.0	33.2	38.6	42.2	49.3
40	20		2.8	3.2	3.6	4.0	4.6	5.0	5.8
	30		4.3	4.8	5.4	6.1	7.0	7.7	8.9
	40		5.8	6.5	7.3	8.3	9.5	10.4	12.0
	60		9.0	10.1	11.3	12.8	14.7	16.0	18.5
	80		12.3	13.8	15.5	17.6	20.2	21.9	25.4
	100		15.9	17.8	20.0	22.7	26.0	28.3	32.8
	120		19.7	22.1	24.8	28.1	32.2	35.1	40.6
	140		23.7	26.5	29.8	33.8	38.8	42.2	48.8
50	30		3.9	4.3	4.8	5.4	6.2	6.7	7.7
	40		5.3	5.9	6.5	7.3	8.4	9.1	10.4
	60		8.1	9.0	10.1	11.3	12.9	14.0	16.0
	80		11.2	12.4	13.8	15.5	17.7	19.1	22.0
	100		14.4	16.0	17.8	20.1	22.8	24.7	28.4
	120		17.8	19.8	22.1	24.8	28.3	30.6	35.1
	140		21.5	23.8	26.6	29.9	34.0	36.8	42.3
	160		25.3	28.1	31.3	35.2	40.1	43.4	49.8
	180		29.2	32.5	36.2	40.7	46.4	50.2	57.6
80	30		3.2	3.5	3.9	4.3	4.8	5.2	5.8
	40		4.4	4.8	5.2	5.8	6.5	7.0	7.9
	60		6.7	7.4	8.1	9.0	10.0	10.8	12.1
	80		9.2	10.1	11.1	12.3	13.8	14.8	16.6
	100		11.9	13.0	14.3	15.9	17.8	19.1	21.5
	120		14.7	16.1	17.8	19.7	22.0	23.6	26.6
	140		17.7	19.4	21.4	23.6	26.5	28.4	32.0
	160		20.9	22.9	25.1	27.8	31.2	33.4	37.7
	180		24.2	26.5	29.1	32.2	36.1	38.7	43.7
100	40		4.0	4.4	4.8	5.3	5.8	6.2	7.0
	60		6.2	6.7	7.4	8.1	9.0	9.6	10.8
	80		8.5	9.2	10.1	11.1	12.4	13.2	14.8
	100		11.0	11.9	13.0	14.4	16.0	17.0	19.1
	120		13.6	14.8	16.2	17.8	19.8	21.1	23.6
	140		16.3	17.8	19.4	21.4	23.8	25.4	28.4
	160		19.2	20.9	22.9	25.2	28.0	29.9	33.4
	180		22.2	24.2	26.5	29.2	32.4	34.6	38.7
120	60		5.8	6.3	6.8	7.5	8.3	8.8	9.8
	80		8.0	8.6	9.4	10.3	11.4	12.1	13.5
	100		10.3	11.2	12.1	13.3	14.7	15.6	17.4
	120		12.7	13.8	15.0	16.5	18.2	19.3	21.5
	140		15.3	16.6	18.1	19.8	21.9	23.3	25.9
	160		18.0	19.6	21.3	23.3	25.8	27.4	30.5
	180		20.9	22.6	24.6	27.0	29.8	31.7	35.3

2.2.2 Lämpötilan nostotarve

Laitoksesta ja prosessista riippuen sähkösaatoille voidaan asettaa vaatimukseksi putkistossa virtauksettomassa tilassa olevan aineen lämpötilan nosto tietyssä ajassa. Tällöin putkistossa tarvittavan saattotehon määrittämisessä apuna voidaan käyttää kaavoja 2.4, 2.5 ja 2.6.

Haluttu lämmitysaika saadaan seuraavasti:

$$t = H \times \ln \left\{ \frac{q_c - U(T_i - T_a)}{q_c - U(T_f - T_a)} \right\} + \frac{\rho_1 V_c h_f}{q_c - U(T_{sc} - T_a)} \quad (2.4)$$

U	lämpöhäviö putken pituusyksikköä ja lämpötilaeron astetta kohti [W/(m*Kelvin)]
H	terminen aikavakio, joka on putken, nesteen ja lämpöeristysten massoihin sitoutunut kokonaisenergia astetta kohti jaettuna lämpöhäviöllä putken pituusyksikköä ja lämpötilaeron astetta kohti [s].

U eli lämpöhäviö putken pituusyksikköä ja lämpötilaeron astetta kohti määritetään kaavalla 2.5. Käytännössä se vastaa aiemmin esitetyn lämpöhäviön q kaavaa 2.3, mutta yhtälön osoittaja muuttuu, jotta häviö saadaan oikeaan yksikköön:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\pi D_1 h_i} + \frac{\ln\left(\frac{D_2}{D_1}\right)}{2\pi K_1} + \frac{\ln\left(\frac{D_3}{D_2}\right)}{2\pi K_2} + \frac{1}{\pi D_3 h_{co}} + \frac{1}{\pi D_3 h_o}} \quad (2.5)$$

Terminen aikavakio H määritetään putken, lämpöeristeen ja virtaavan aineen parametrien avulla seuraavasti:

$$H = \frac{\rho_1 C_{p1} V_{c1} + \rho_2 C_{p2} V_{c2} + 0,5 \rho_3 C_{p3} V_{c3}}{U} \quad (2.6)$$

ρ_1	putkessa olevan aineen tiheys [kg/m ³]
C_{p1}	putkessa olevan aineen ominaislämpö [J/(kg*K)]
V_{c1}	putken sisäinen tilavuus [m ³ /m]
ρ_2	putkimateriaalin tiheys [kg/m ³]
C_{p2}	putkimateriaalin ominaislämpö [J/(kg*K)]
V_{c2}	putkimateriaalin tilavuus [m ³ /m]
ρ_3	eristemateriaalin tiheys [kg/m ³]
C_{p3}	eristeen ominaislämpö [J/(kg*K)]
V_{c3}	eristeen tilavuus [m ³ /m]
T_i	putken alkulämpötila celsius-asteina [°C]
T_f	putken ja siinä olevan aineen loppulämpötila celsius-asteina [°C]
T_a	ympäristön lämpötila celsius-asteina [°C]
T_p	haluttu ylläpitolämpötila celsius-asteina [°C]
t	haluttu lämmitysaika sekunteina [s]

U	lämpöhäviö putken pituusyksikköä ja lämpötilaeron astetta kohti [W/(m*K)]
H	terminen aikavakio sekunteina [s]
T _{sc}	putkessa olevan aineen olomuodon muutoslämpötila celsius-asteina [°C]
h _f	putkessa olevaan aineeseen sitoutunut sulamislämpö [J/kg]
q _c	sähkösaaton teho putkimetriä kohti [W/m]. (SFS-EN 60079-30-2, 17-18.)

2.2.3 Lämpöhäviöiden varmuuskerroin

Kuten aiemmin mainittiin, täytyy teoreettisen tarkastelun lisäksi ottaa huomioon eristeiden asennuksissa tapahtuvat poikkeamat sekä venttiileistä, laipoista, pumpuista ja putkikannakkeista aiheutuvat häviöt. Kaapeleiden valmistajilta on saatavissa taulukkoja ja varmuuskertoimista, joita mitoittamisessa voidaan käyttää apuna. Alla olevaan taulukkoon on otettu esimerkiksi erilaisiin venttiileihin sovellettavia varmuuskertoimia. Venttiilin lämpöhäviö saadaan kertomalla putken lämpöhäviö venttiilityypin varmuuskertoimella.

Taulukko 2.3. Venttiileiden lämpöhäviöiden varmuuskertoimet. (Raychem Oy, 1992.)

Venttiilityyppi	Lämpöhäviökerroin
Luisti	1,3
Läppä	0,7
Pallo	0,8
Istukka	1,2

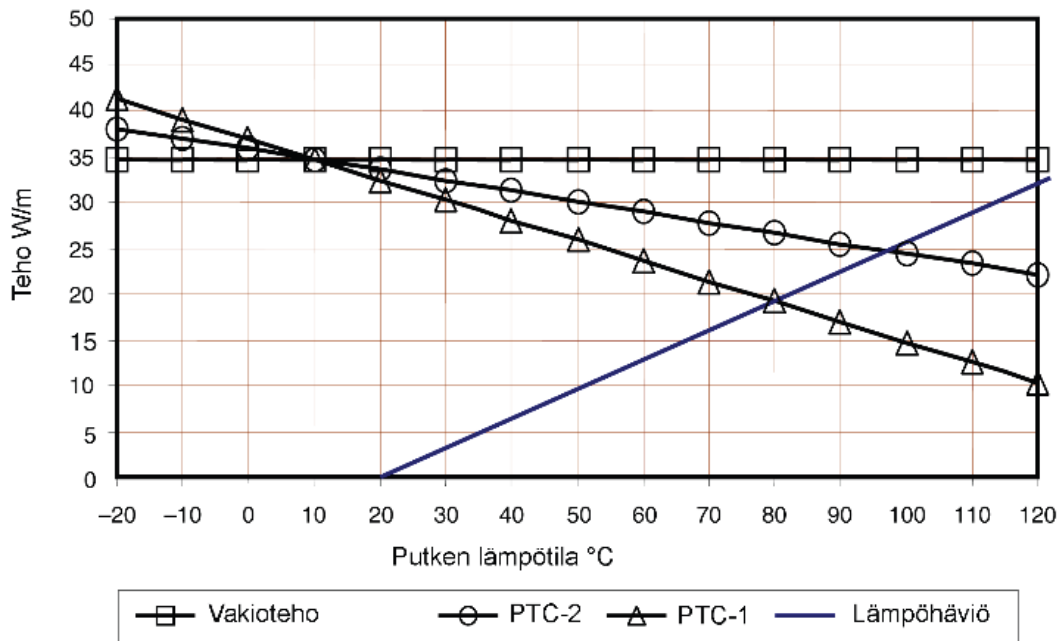
2.2.4 Turvalliseksi mitoittaminen

Erityisesti kaasuräjähdysvaarallisissa tiloissa kaapelin maksimipintalämpötilan rajoittaminen syttymisryhmän salliman lämpötilan alapuolelle on tärkeää. Turvalliseksi mitoittaminen perustuu siihen, että lämmityskaapelin pinnan ja lämmitettävän kohteen maksimilämpötilat määritellään epäedullisimmissa käyttöolosuhteissa. Epäedullisimpien käyttöolosuhteiden yhdistelmää havainnollistetaan kuvassa 2.2. Olosuhteet sisältävät seuraavat asiat:

- Maksimiulkolämpötilan yleensä oletetaan olevan 40 °C, ellei ole määriteltä toisin.
- Kohteessa ei ole tuulta (ilma pysyy paikallaan).
- Käytetään lämpöeristeen lämmönjohtavuuden minimiarvoa tai varovaisesti arvioitua arvoa.
- Saattopiiriin ei ole suunniteltu lämpötilan säätölaitetta tai sen oletetaan olevan viallinen.
- Saattolämmityksen käyttöjännitteessä tapahtuu 10 %:n ylitys.
- Lämmityskaapeleiden tehon oletetaan olevan valmistustoleranssin ylärajalla, tai sarjaresistanssikaapeleiden ominaisresistanssin olevan valmistustoleranssin alarajalla. (SFS-EN 60079-30-2, 23.)

Kaapelin maksimipintalämpötila riippuu sen ominaistehosta, kokonaislämmönsiirtokertoimesta ja lämmitettävän kohteen suurimmasta mahdollisesta pintalämpötilasta. Periaatteena on laskea tasapainotilan edellytykset, kun kaapelin tuottama lämpö on yhtä suuri kuin lämpöhäviöt. Tyypillisesti saattolämmityskaapelien maksimipintalämpötilojen laskemiseen on käytetty kaavoja, jotka on arvioitu kokemusperäisistä tiedoista tai käyttäen teoreettista lähestymistapaa. Teoreettiset kaavat saattokaapelin pintalämpötilalle metallisissa ja ei-metallisissa putkissa löytyvät standardin SFS-EN 60079-30-2 kappaleista 6.7.4 ja 6.7.5. Apuna laskelmissa voidaan myös käyttää kaapelivalmistajien suunnitteluohjelmia, jotka laskevat maksimipintalämpötilat epäedullimpien käyttöolosuhteiden mukaisilla muuttujilla. (SFS-EN 60079-30-2, 23.)

Kaapelivalmistajat antavat erilaisten saattolämmityskaapeleiden tehotasot tyypillisesti datalehdessä ja/tai suunnitteluohjelmassa. Lämmityskaapeleiden turvalliseksi mitoituksen testaus määritellään erikseen standardissa 60079-30-1. (SFS-EN 60079-30-1, 19.) Kuvassa 2.2. on yhden vakiotehoisen ja kahden erilaisen PTC-ominaisuuden omaavan kaapelin tehokäyrät. Lisäksi kuvaan on piirretty sininen käyrä kuvaamaan järjestelmän lämpöhäviöitä tilanteessa, jossa ympäristön maksimilämpötilaksi on määriteltä 20 °C. Lämpöhäviökäyrän ja kaapelin tehokäyrän välisessä leikkauspisteessä nähdään ylläpidettävä lämpötila ja kaapelin teho kyseisissä olosuhteissa. Esimerkiksi PTC-2 kaapeli pitää yllä noin 96 °C:n lämpötilaa tehon ollessa 25 W/m. (SFS-EN 60079-30-2, 20.)



IEC 2332/06

Kuva 2.2. Tasapainotilan ehdot maksimipintalämpötilan ja kaapelitehon arvioinnissa. (SFS-EN 60079-30-2, 21.)

2.2.5 Suunnitteluohjelman käyttö mitoittamisessa

Sähkösaattojärjestelmien suunnittelun apuna voidaan käyttää kaapelivalmistajien suunnitteluohjelmia. Ne laskevat lähtötietojen perusteella esimerkiksi lämpöhäviöt putkilinjassa, tarvittavat lämpökaapelipiirit ja sähköiset kuormitukset. Laskelmien perusteella saadaan suoraan ehdotuksia sopivista kaapeleista ja muista tarvikkeista.

Esimerkiksi Pentair Thermal Management on kehittänyt TraceCalc Pro -ohjelman. Siinä voidaan antaa monipuolisesti lähtötietoja laskentaa varten. Ohjelmaan voidaan syöttää esimerkiksi tiedot putkilinjasta, venttiilien määrästä, eristysmateriaaleista, räjähdysvaarallisen tilan tilaluokituksesta sekä lämpötilataseista. (TraceCalc Pro -ohjelma 30.3.2013.) Vaihtoehtoinen laitevalmistajan kehittämä apuohjelma sähkösaattojen suunnitteluun on Thermon Manufacturing Companyn CompuTrace®. Ohjelma saatavissa osoitteesta: <<http://www.thermon.com/software/Default.aspx>>.

2.3 Lämpöeristykset

Onnistunut lämpöeristyksen valinta ja asennus ovat isossa osassa sähkösaattojärjestelmän toimivuuden kannalta. Eristyksen mitoittamisessa pyritään siihen, että se pienentää merkittävästi järjestelmän lämpöhäviöitä. Eristyksellä ei kuitenkaan saada

kaikkia lämpöhäviöitä poistettua, jolloin saattolämmityskaapeleilla korvataan menetetty lämpö. Energiahäviöitä minimoimalla voidaan alentaa käyttökustannuksia ja parantaa järjestelmän ominaisuuksia sekä saattolämmityksen tehokkuutta. Vaikka lämpöeristykset olisi mitoitettu oikein, voivat eristyksen huolimaton asennus, sekä eristyksen jatkuva purkaminen ja kasaaminen aiheuttaa ylimääräisiä häviöitä. (SFS-EN 60079-30-2, 10, 45.)

Ennen kuin saattosuunnittelussa aletaan laskea putkistojen tai säiliöiden lämpöhäviöitä, standardissa suositellaankin tarkasteltavaksi lämpöeristykseen tehtäviä valintoja. Näitä valintoja ovat käytettävät eristemateriaalit, säänsuoja, taloudellinen eristyspaksaus ja eristyksen oikea koko. (SFS-EN 60079-30-2, 10, 45.) Regenerointilaitoksella suurin osa lämpöeristyksistä on vuorivillaa. Erityisen kuumissa kohteissa käytetään keraamista villaa ja Armaflex-eristettä.

Saattolämmitetyissä putkissa ja muissakin putkieristyksissä eristyskourut ovat hyvä ratkaisu. Eristeen sisäpinnan ja saattolämmityskaapelin kohdalle ei pidä tehdä uraa, koska silloin estetään kaapelin lämmön tasainen jakautuminen putkeen. (Partanen 2009, 47.)

Eristemateriaalit

Lämpöeristeen tärkein ominaisuus on sen lämmöneristävyys. Sitä mitataan aiemmin esitetyissä lämpöhäviöiden laskukaavoissakin käytetyllä materiaalin lämmönjohtavuusarvolla (λ -arvo, W/(m*K)). Tärkeinä käyttöominaisuuksina eristemateriaalille voidaan mainita mekaaninen ja kemiallinen kestävyys, lämmönkestävyys sekä palo- ja asennusominaisuudet. (Partanen 2009, 47.) Alla olevaan taulukkoon on koottu esimerkkejä yleisimpien eristeiden lämmönjohtavuuksista 10 °C:n lämpötilassa. Eristekerroin viittaa liitteenä olevaan putken lämpöhäviötaulukkaan, joka on laskettu lasivillan ominaisuuksien mukaan.

Taulukko 2.4. Eistemateriaalien lämmönjohtavuus. (Raychem Oy, 1992.)

Eistemateriaali	Eistekerroin	Lämmönjohtavuus 10 °C lämpötilassa [W/(m*K)]
Lasivilla	1,0	0,036
Mineraalivilla	1,06	0,038
Mineraalivillamatto	1,2	0,043
Vahtomuovi	1,17	0,042
Polyuretaani	0,67	0,024
Kalsiumsilikaatti	1,5	0,054
Lasivahto	1,61	0,058

Taloudellisen eristepaksuuden valinta

Lämpöeristyksen taloudellisessa tarkastelussa tulisi verrata materiaali-, asennus- ja yläpitokustannuksia lämpöeristyksen tuomaan energiansäästöön sen arvioidun käyttöajan aikana. Pehmeitä eristeitä, kuten mineraalivillaa, käytettäessä voidaan usein valita putkikoon mukainen eristekoko. Pitää kuitenkin varoa, ettei lämmityskaapeli haudaudu eristeen sisään, sillä lämmönsiirtyminen putkeen huonontuu ja kaapeli saattaa ylikuumentua ja vaurioitua. Joskus saatetaankin valita putkikokoa isompi eristeen koko, jotta saatettu putki mahtuu paremmin sen sisään. Saattolämmityksen vaatima tila pitäisikin huomioida eristeen kokoa valittaessa. (SFS-EN 60079-30-2, 11-13.)

Kaksoiseristäminen

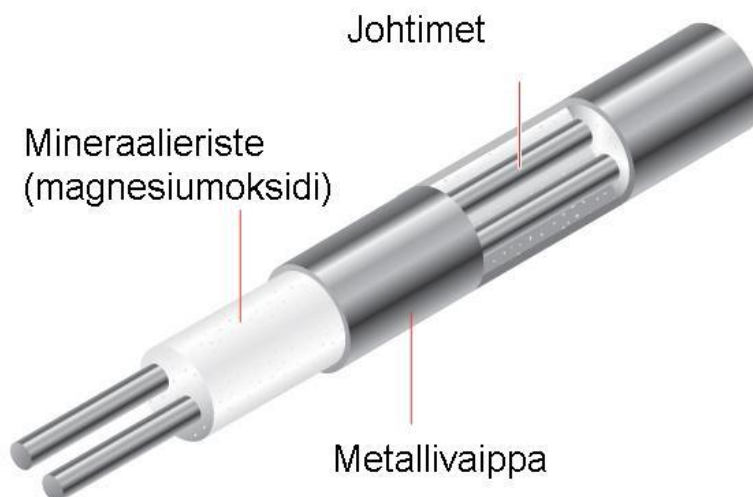
Jos putken lämpötila ylittää saattokaapelin kestämän maksimilämpötilan, voidaan mahdollisesti käyttää kaksoiseristämistä. Kaksoiseristystekniikassa määritetään sisemmän ja ulomman eristekerroksen oikea laatu ja paksuus niin, että kerrosten välissä on saattokaapelille sopiva lämpötila. Saattokaapeli sijoitetaan näiden kahden eristyskerroksen väliin. Kaksoiseristämistä voidaan käyttää esimerkiksi höyryputkistoissa estämään lauhteen jäätyminen saattolämmityksellä, kun putkistossa ei virtaa höyryä. Regenerointilaitoksella kaksoiseristystä käytetään erityisesti kuumissa impulssiputkilinjoissa. Niissä sisemmän eristeen ulkokuori on alumiinia, jonka päällä on itserajoittuva lämmityskaapeli. (SFS-EN 60079-30-2, 13; Tammisto 13.3.2013.)

2.4 Sähkölämmityskaapelit

Ominaisuuksiensa mukaan lämmityskaapelit voidaan luokitella kahteen päätyyppiin: sarjaresistanssi- ja rinnakkaisresistanssikaapelit. Lisäksi on itsesäätyviä ja itserajoittuvia kaapeleita, jotka ovat rinnakkaisresistanssikaapelin erityissovelluksia. Sarjaresistanssikaapeleista käytetään yleisemmin nimeä vakiovastuskaapelit.

Kohteesta riippuen valitaan käyttöön parhaiten sopiva kaapeli. Valintaan vaikuttavat muun muassa vaadittava lämpötilakestoisuus, lämmityksen tarkoitus, lämmityspiirin pituus, kemialliset ja mekaaniset rasitukset sekä räjähdysvaaralliset tilat. Saatettavien putkiosuuksien määrän kasvaessa myös taloudellisten näkökohtien merkitys kasvaa. (Saastamoinen 2009, 161-162.)

Kaapeleille on olemassa erilaisiin olosuhteisiin sopivia vaippamateriaaleja. PVC-vaippaisia kaapeleita käytetään sulanapitoon ja lämmitykseen noin 90 °C:een saakka. Fluoropolymeerivaippainen kaapeli soveltuu teollisuuden käyttökohteisiin noin 260 °C:een asti. Niiden erityisominaisuutena voidaan pitää muun muassa hyvää kemikaalien kestäkykyä. Edellisiä korkeampiin lämpötiloihin (jopa yli +600 °C) soveltuu metallivaippainen mineraalieristetty kaapeli. (Heatchem Oy 17.2.2013; Saastamoinen 2009, 161-162.)



Kuva 2.3. Esimerkki mineraalieristeen vakiovastuskaapelin rakenteesta. (Muokattu lähteestä Prosessilämpötilan ylläpito 11.2.2013.)

2.4.1 Vakiovastuskaapelit

Sarjaresistanssikaapelit voivat olla yksi-, kaksi-, tai kolmijohtimisia. Niissä on vastuksena toimiva johdin, joka lämpenee sähkövirran vaikutuksesta. Jos kaapeli on yksijohtiminen, täytyy sen loppupää tuoda samaan syöttöpisteeseen alkupään kanssa, jolloin se muodostaa lenkin. Kaksi- tai kolmijohtimista kaapelia käytettäessä vain alkupää tuodaan syöttöpisteeseen ja toiseen päähän käytetään kaapelille soveltuvaa loppupäättettä. Kaapelin syöttöjännitteenä käytetään 230 V tai 400 V. (Saastamoinen 2009, 161.)

Sarjaresistanssikaapelilla vastus pituusyksikköä kohden on vakio, jolloin kaapelin pituus ja syöttöjännite määräävät sen luovuttaman lämmitystehon. Laitetoimittajilta saa kaapeleita eri vastusarvoilla, joista sopiva kaapeli valitaan tarvittavan tehon ja kohteeseen sopivan pituuden mukaan. Perusrakenteeltaan vakiovastuskaapelit koostuvat yleensä eristetystä lämmittävästä johtimesta, maadoitusarmeerauksesta sekä suojaavasta ulkovaipasta. Toisin kuin itsesäätyvissä kaapeleissa, vakiovastuskaapelin teho ei juurikaan ole ympäristön lämpötilasta riippuvainen. Ominaisuuksiltaan vakiovastuskaapelit soveltuvat hyvin pitkiin putkilinjoihin ja laajalle lämpötila-alueelle. Niitä on käytössä myös L&T Recoil Oy:n laitoksella, joista on esimerkkinä kaapelin datalehti liitteessä 5. (Elfoil-sarjavastuskaapelit 12.2.2013, 1; Heatchem Oy 17.2.2013.)

Vakiovastuskaapelille voidaan laskea ihanteellinen vastusarvo metriä kohden [Ω/m]. Tämä arvo ilmoitetaan laitetoimittajan taulukoissa kullekin kaapelityypille ja sen laskemisen periaate esitetään seuraavassa:

$$P_{\text{kok}} = L \times P_{\text{metri}} \quad (2.7)$$

P_{kok}	kaapelin kokonaisteho [W]
L	kaapelin pituus [m]
P_{metri}	kaapelin metriteho [W/m].

Seuraavaksi lasketaan Ohmin lain avulla koko kaapelin yhteenlaskettu vastus:

$$R_{\text{kok}} = U^2 \div P_{\text{kok}} \quad (2.8)$$

R_{kok} kaapelin yhteenlaskettu vastus [Ω]
 U jännite [V].

Kaapelin ihanteellinen vastusarvo metriä kohden on siis:

$$R_m = R_{\text{kok}} \div L \quad (2.9)$$

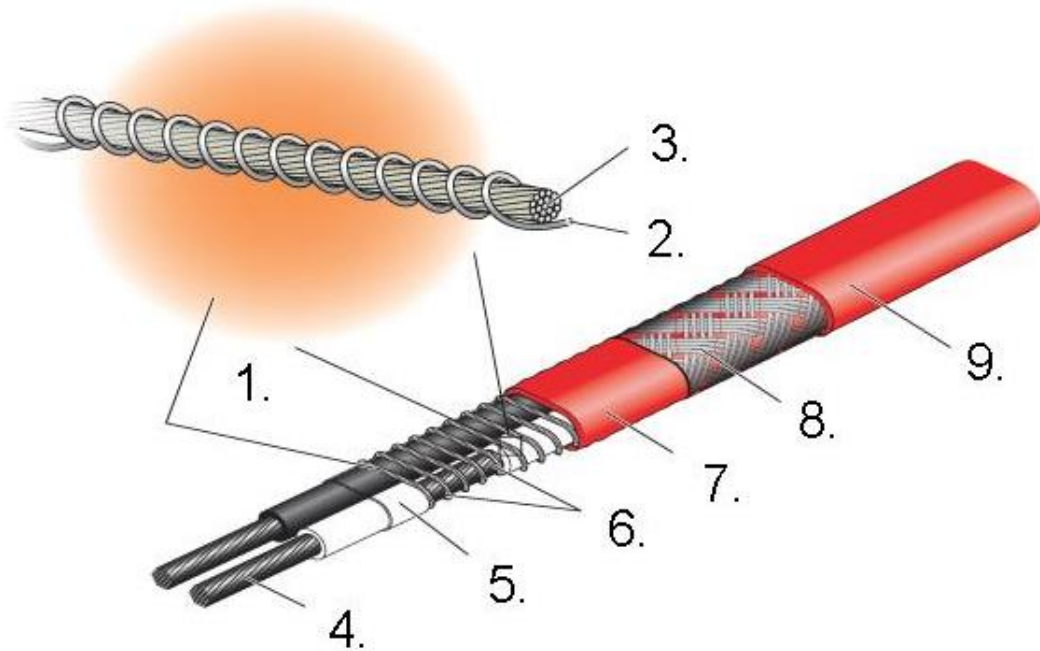
R_m vastus metriä kohden [Ω/m]. (Elfoil-saattolämmitys 12.2.2013.)

Vakiovastuskaapeleita käytettäessä täytyy huomioida, että tiettyyn kohteeseen mitoitettua kaapelia ei saa lyhentää tai jatkaa, koska silloin kaapelin teho pituusyksikköä kohden joko kasvaa tai vastaavasti vähenee. Niitä ei myöskään saa kietoa toistensa yli, sillä kosketuskohdassa lämmitysteho kaksinkertaistuu ja kaapeli voi vahingoittua. Ohjaukseen voidaan käyttää tarkoitukseen sopivaa termostaattia tai muuta säätölaitetta, joista kerrotaan luvussa 2.5.2. (Elfoil-sarjavastuskaapelit 12.2.2013, 1.)

2.4.2 Rinnakkaisresistanssikaapelit

Rinnakkaisresistanssikaapeliin tyypillinen rakenne koostuu kahdesta rinnakkaisesta syöttöjohtimesta ja niiden välille kytkettyistä metallisista tai polymeerimuovisista lämmityselementeistä, jotka saavat jännitteen johtimista. (SFS-EN 60079-30-2, 19.)

Vakiotehotyyppisessä rinnakkaisresistanssikaapelissa on tyypillisesti spiraalinmuotoon syöttöjohtimien ympärille kierretty metallinen vastuslanka. Niissä syöttöjohtimien eriste on paljas vuoroittaisilta puolilta tietyn matkan välein, johon vastuslanka on kosketuksissa. Näiden kosketuspisteiden etäisyys määrittää lämmitysalueen pituuden. Tätä tyyppiä olevia rinnakkaisresistanssikaapeleita kutsutaan myös vakio- tai kiinteämetritehokaapeleiksi. Vastuslanka voi olla valmistettu PTC-ominaisuuden omaavasta materiaalista. Tällöin vastuslangan resistanssi kasvaa ja kaapelin teho laskee lämpötilan noustessa. Tällaista kaapelia kutsutaan itserajoittuvaksi. PTC on lyhenne sanoista Positive Temperature Coefficient, eli positiivinen lämpötilakerroin. Työn liitteissä on L&T Recoililla käytössä olevan vakioitehoisen kaapelin datalehti. (Saastamoinen 2009, 161; Vakioitehoisen lämpökaapeli 18.2.2013.)



Kuva 2.4. Rinnakkaisresistanssikaapeli tehoa rajoittavalla PTC-ominaisuudella. (Muokattu lähteestä Prosessilämpötilan ylläpito 11.2.2013.)

- | | |
|----|--|
| 1. | Tehoa rajoittava vastuslankaelementti |
| 2. | PTC-metalliseos |
| 3. | Lasikuitulanka |
| 4. | Johdin |
| 5. | Eriste |
| 6. | Paljas johtimen osa |
| 7. | Sisempi fluoropolymeerinen vaippa |
| 8. | Metalliarmeeraus |
| 9. | Ulompi fluoropolymeerinen vaippa (Käännetty suomeksi lähteestä Prosessilämpötilan ylläpito 11.2.2013.) |

Rinnakkaisresistanssityyppiset kaapelit voidaan katkaista haluttuun mittaan asennuspaikalla. Tästä syystä niiden asentaminen ja käyttäminen on helpompaa verrattuna vakiovastuskaapeleihin, jotka on jo ennalta täytynyt suunnitella ja valmistaa tiettyyn putkilinjaan sopivan pituisiksi. Virrankatkaisimet voivat myös olla pienempiä verrattuna säätyviin lämmitysjärjestelmiin. Toisaalta vakiotehoisia rinnakkaisresistanssikaapeleita ei myöskään saa asentaa limittäin, ettei kaapeli vaurioituisi ylikuumentumisen takia.

Itsesäätyvät ja itserajoittuvat kaapelit

Itsesäätyvissä lämmityskaapeleissa ulkopuolinen lämpötila vaikuttaa kaapelin lämmitystehoon. Lämmitettävän kohteen lämpötilan laskiessa kaapelin lämmitysteho kasvaa. Tämä johtuu siitä, että kahden johtimen välillä olevan puolijohtavan massan omi-

naisresistanssi pienenee. Toisaalta kohteen lämpötilan noustessa kaapelin lämmitysteho laskee. Kaapeli saavuttaa termodynaamisen tasapainon lämpötilassa, jossa lämpöhäviöt ympäristöön ovat samansuuruiset kuin kaapelin kohteeseen luovuttama lämpöteho. (Elfoil-itserajoittuvat kaapelit 2013, 1.)

Itsesäätyvän lämmityskaapelin toiminta perustuu lämpöä kehittävään puolijohdemateriaaliin. Matalissa lämpötiloissa puolijohdemateriaalin johtavat hiukkaset ovat hyvin kosketuksissa toisiinsa ja sähköä pääsee johtumaan kahden johtimen väliin. Lämpötilan noustessa materiaalin sähkönjohtavuus heikkenee ja vastus johtimien välillä kasvaa. Tästä seuraa, että johtimien välinen virta heikkenee. Kaapelin lämpötilan laskiessa virta johtimien välillä alkaa taas kasvaa. Kuvassa 2.5. havainnollistetaan itsesäätyvän kaapelin rakennetta. Punaisella alueella kaapelin lämmitysteho on suurimmillaan, eli sitä ympäröivä lämpötila on viileä. Sinisellä alueella kaapelia ympäröivät jo lämpimät olosuhteet, eikä puolijohdemateriaali johda juurikaan sähköä. Toisin sanoen kaapeli ei enää lämmitä. (Elfoil-itserajoittuvat kaapelit 2013, 1.)



Kuva 2.5. Itsesäätyvän lämmityskaapelin rakenne. (Elfoil-itserajoittuvat kaapelit 2013, 1.)

Itsesäätyvän kaapelin valinta ja mitoitus tehdään lämmitettävän kohteen lämpöhäviöiden ja valmistajan ilmoittamien kaapelikohtaisten tehonkulutus- tai lämpötilakäyrien perusteella. Kaapeleiden valmistajilta on saatavissa eri kaapelityypeille datalehtiä, joiden avulla saadaan valittua oikea kaapeli kohteeseen. Liitteessä 5 on esimerkkinä L&T Recoil Oy:n laitoksellakin käytössä olevien itsesäätyvien kaapeleiden datalehtiä. Itsesäätyvillä lämmityskaapeleilla lämmityksen ”kylmäkäynnistys” aiheuttaa lyhytaikaisen virtapiikin, joka täytyy ottaa huomioon suunnitteluvaiheessa, etteivät suojalaitteet laukeaisi turhaan. (Saastamoinen 2009, 162.) Usein datalehdissä ilmoitetaan sopi-

va johdonsuojakatkaisijan koko, jonka tietyn pituinen kaapeli tarvitsee esimerkiksi 10 °C:n käynnistyslämpötilassa.

Itsesäätyvien kaapeleiden käytössä on monia etuja. Ne voidaan katkaista haluttuun pituuteen ja ne on helppo asentaa, koska niitä voidaan asentaa myös päällekkäin itsensä kanssa. Niiden päättämiseen ei välttämättä tarvita tulityölupaa, sillä voidaan käyttää kylmäsilikoni- tai mekaanisia päätteitä. Itsesäätyvyyden takia ei välttämättä tarvita termostaattia. Lyhyissä putkissa ne ovat myös edullinen vaihtoehto. Käyttölämpötila voi yltyä ainakin 250 °C:een. Regenerointilaitoksella on käytössä esimerkiksi alumiinivaippainen itsesäätyvä kaapeli, joka kestää jännitteettömänä 300 °C:n ja jännitteisenä 250 °C:n lämpötilan. Itsesäätyviä kaapeleita on saatavana räjähdysvaarallisiin tiloihin soveltuvina sekä hyvällä kemikaalien kestokyvyllä. (Heatchem Oy 17.2.2013.)

Kaapelin PTC-ominaisuus

PTC-tyyppinen itserajoittuva kaapeli koostuu siis polymeerisestä lämmityselementistä, joka on suulakepuristettu johtimien väliin. PTC-ominaisuus voi myös olla toteutettu edellä mainitulla spiraalimaisella vastuslangalla (kuva 2.4.). Loivemmin rajautuvien PTC-tyyppisten kaapeleiden suuremmalla lämmitysteholla voidaan ylläpitää korkeampaa lämpötilaa kuin jyrkemmin rajautuvilla PTC-tyyppisillä. Näillä kaapeleilla käyttölämpötilat ovat kuitenkin alempia kuin vakiotehoisilla kaapeleilla, mikä rajoittaa niiden käyttömahdollisuuksia. Kts. kuva kaapeleiden tehokäyristä kappaleessa turvalliseksi mitoitus sivulla 16. (SFS-EN 60079-30-2, 20.)

2.5 Sähkölämmityspiiri kokonaisuutena

Prosessiteollisuuden Standardoimiskeskuksen (PSK) standardissa 8101 määritellään sähkölämmityspiirin rakennetta. Sähkösaattopiiri käsittää varsinaisen lämmityskaapelin lisäksi kytkentärasiat, ohjauslaitteen sekä syöttö- ja ohjauskaapelit. Sähkösaattoryhmään voi kuulua useita piirejä, jotka on kytketty kentälle yhteisellä syöttökaapelilla. Ryhmä on kytketty yhden vikavirtakytkimen ja/tai ylivirtasuojan taakse.

Syöttökaapeliksi sanotaan sähkösaattokeskuksen ja haaroituskotelon tai syöttöpisterasian välillä olevaa kaapelia. Haaroituskotelossa sähkösaattokeskuksesta tulevat syöttökaapelit voidaan haaroittaa eri sähkösaattoryhmille. Syöttöpisterasiassa lämpökaape-

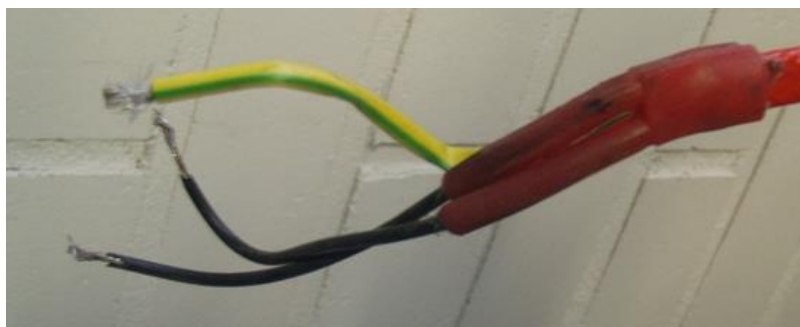
li tai kylmäkaapeli liittyy syöttö- tai ketjutuskaapeliin. Ketjutuskaapeli on haaroituskelon ja syöttöpisteen välinen kaapeli tai syöttöpisteiden välinen kaapeli.

Kylmäkaapeli on lyhyt lämpenemätön kaapeli, jolla lämpökaapeli liitetään syöttöpisterasiaan. Sen tarkoituksena on estää rasian ja eristyksen läpi asennetun kaapelin liiallinen kuumeneminen. Lämpökaapelipiiriin voidaan katsoa kuuluviksi syöttöpisterasiaan kytketty lämpökaapeli(t), kylmäkaapeli(t), jatkokset ja päätteet. (PSK 8101, 2-4.)



Kuva 2.6. Tarvikkeita kaapelin päättämiseen. (L&T Recoil Oy.)

Esimerkkinä itserajoittuvan kaapelin päättämisestä kuvassa 2.7. on kaapelin kytkentärasian puoleiseen päähän tehtävä silikonipääte. Kaapelin loppupäähän tulee puolestaan kuvan 2.8. mukainen pääte.



Kuva 2.7. Itserajoittuvan kaapelin rasianpuoleinen silikonipääte. (L&T Recoil Oy.)



Kuva 2.8. Itserajoittuvan kaapelin loppupääte. (L&T Recoil Oy.)

2.5.1 Sähkösaattokeskus

Sähkösaattokeskus on sähkösaattolähtöjä sisältävä keskus. Sieltä käsin voidaan mahdollisesti tarkkailla sähkösaattopiireissä ilmeneviä vikoja ja hälytyksiä, jos käytössä on esimerkiksi graafinen ohjauspaneeli sähkösaattoryhmille. Hälytykset voidaan kuittaa manuaalisesti, mutta jos piirissä on todellinen vika, niin se ei luonnollisesti poistu itsestään ilman asianmukaisia toimenpiteitä. Keskuksessa voidaan myös testata suojalaitteiden toimintaa.



Kuva 2.9. Sähkösaattokeskus. (L&T Recoil Oy.)

2.5.2 Lämmityspiirin ohjaus ja säätö

Lämpötilan rajoittimia ja säätimiä käytetään estämään saattolämmityksen lämpötilan nousemista raja-arvolämpötilan yli tyypillisesti mittaamalla lämmitettävän putken ja lämmityskaapelin pinnan lämpötilaa. Lämpötilan lisäksi voidaan mitata muitakin parametreja, kuten saattopiirin virtaa. Säätö- ja valvontajärjestelmä voi sisältää saattopiirin vikavalvonnan, ylivirtasuojauksen, vikavirtasuojauksen ja sähköisen eristystason valvonnan. (SFS-EN 60079-30-2, 22, 29.)

Prosessilämpötilalle vaadittava tarkkuus vaikuttaa siihen, mikä lämmityspiirin ohjaustapa on kohteessa sopivin vaihtoehto. Prosessit voidaan jaotella kolmeen tyyppiin:

- Tyyppe I
 - Lämpötilaa ylläpidetään minimiarvon yläpuolella. Tässä tyypissä voidaan käyttää esimerkiksi ulkolämpötilaa mittaavaa säätöä. Suuritehoissa lämmitysryhmissä voi olla yhteinen säädin ja syöttöyksikkö. Suuret lämpötilanvaihtelut ja lämmitysenergian hetkittäinen tarpeeton käyttö ovat tämän säätötavan heikkouksia.
- Tyyppe II
 - Prosessissa pidetään yllä lämpötilaa kohtuullisen väljällä vaihtelualueella. Säätimenä voi olla esimerkiksi putken lämpötilaa mittaava mekaaninen termostaatti.
- Tyyppe III
 - Lämpötilaa pidetään yllä kapealla vaihtelualueella. Säätimien tuntoelimenä käytetään esimerkiksi termopari- tai vastusantureita. (SFS-EN 60079-30-2, 9.)

Räjähdyksvaarallisissa tiloissa on lisävaatimuksena lämmityskaapelin maksimipintalämpötila, jonka täytyy maksimissaan 200 °C:n lämpötila-alueella rajautua 5 Kelvin-astetta tilaluokan tai syttymislämpötilan alapuolelle. Vastaavasti yli 200 °C:n lämpötila-alueella marginaali on 10 Kelvin-astetta. Tilaluokista ja syttymisryhmistä kerrotaan lisää kappaleessa 3.2. Pintalämpötilan rajoittaminen toteutetaan joko lämpötilan säätölaitteilla tai turvallisiksi mitoittamalla (kts. kappale 2.2). (SFS-EN 60079-30-1, 11.)

Sähkömekaaniset säätimet

Saattolämmityspiirien säätämiseen voidaan käyttää termostaatteja. Tiettyssä lämpötilassa tapahtuva muutos aiheuttaa niissä mekaanisen liikkeen, joka sulkee tai avaa sähköiset koskettimet saattopiirissä, jolloin lämmityspiiri menee päälle tai pois päältä. Termostaatin rinnalla käytettävä erillinen lämpötilan rajoitin varmistaa, että jos termostaatti vikaantuu, lämpökaapelin pintalämpötila ei ylitä räjähdysvaarallisten alueiden lämpötilaluokan sallimaa kaapelin maksimipintalämpötilaa.

Bimetallisessa termostaatissa käytetään kahdesta eri metallista tehtyä liuskaa. Metalleilla on erilaiset lämpölaajenemisominaisuudet, joiden johdosta lämpötilan muuttuessa liuska taipuu. Termostaatti voi olla esimerkiksi kupera bimetallilevy, jonka kupe-ruussuunta muuttuu tiettyssä lämpötilassa. Termostaatti voi olla myös spiraalimainen, jossa käytetään hyväksi kierto liikettä. (Pihkala 2004, 42-43.)

Saattolämmityksissä käytetään kuitenkin yleisemmin kapillaaritermostaatteja, joiden toiminta perustuu nesteen tilavuuden muuttumiseen suljetussa tilassa. Anturi, jossa neste lämpölaajenee, on yhdistetty kojeeseen kapillaariputkella. Lämpötilassa tapahtuva muutos saa aikaan mekaanisen liikkeen, jolla ohjataan sähköisiä koskettimia. Kuvassa 2.10. on regenerointilaitoksella käytössä oleva kapillaaritermostaatti.



Kuva 2.10. Räjähdysvaaralliseen tilaan soveltuva kapillaaritermostaatti. (L&T Recoil Oy.)

Sähkömekaanisten säätimien huonoina puolina voidaan pitää sitä, ettei niitä voi sijoittaa keskustilaan ja niiden kalibrointi kentällä on hankalaa. Sähkömekaaninen termostaatti sijoitetaan kentälle ja siinä käytettävän kotelorakenteen täytyy olla hyväksytty asennuspaikan räjähdysvaarallisuusluokituksen mukaisiin olosuhteisiin. Räjähdys-suojusrakenteista kerrotaan lisää kappaleessa 3.3. (SFS-EN 60079-30-2, 29-30.)

Elektroniset säätimet

Elektronisten säätimien lämpötila-antureina käytetään vastusantureita, termistoreita, termopareja tai muita lämpötilaan reagoivia antureita. Niissä etuna on se, että säätimet voidaan sijoittaa satojen metrien päähän antureista ja asentaa räjähdysvaarallisten tilojen ulkopuolelle sähkökeskuksiin. Tällöin niitä on myös helpompi huoltaa. Lämpötila-anturilta saatu viesti käsitellään elektronisesti ja saattopiirin päällä oloa voidaan ohjata portaattomasti tai päälle-pois tyyppisesti. Piirin ohjaamiseen käytetään kontaktoreita tai puolijohdereleitä. (SFS-EN 60079-30-2, 30.)

Regenerointilaitoksella saattolämmityksen lämpötilan mittauksissa käytetään Pt-100 antureita. Ne toimivat lämmityspiireissä, joissa tarvitaan lämpötilan säätöä ja rajoitusta. Pt-100 anturin ja muiden metallivastusantureiden toiminta perustuu metallien sähköisen resistanssin lämpötilariippuvuuteen. Lämpötilan noustessa metallivastuksen resistanssi kasvaa. Esimerkiksi Pt-100 antureissa käytetään platinaa, jonka resistanssi 0 °C:n lämpötilassa on 100 Ω. Vastusantureiden resistanssin lämpötilariippuvuus esitetään yleensä taulukoissa. (Pihkala 2004, 44-46.) Laitoksella käytettävän anturin asentamisesta ja kytkemisestä kerrotaan työn laitoskohtaisessa osuudessa.



Kuva 2.11. Regenerointilaitoksella käytettävä Pt-100 anturi. (L&T Recoil Oy.)

3 RÄJÄHDYSVAARALLISET TILAT

Usein saattolämmitystä tarvitaan myös räjähdysvaarallisissa tiloissa. Räjähdysvaarallinen tila voi aiheutua erilaisista aineista. Kaikki vaaraa aiheuttavat aineet huomioiden räjähdysvaarallinen tila voidaan määritellä seuraavasti: *”Räjähdysvaarallinen tila on huone, sen osa tai muu rajoitettu sisä- tai ulkotila, jossa räjähdysvaaran aiheuttaa palava kaasu, palavan nesteen höyry tai sumu, palava pöly ilmaan sekoittuneena tai varsinainen räjähdysaine.”*. (Kauppila et al., 103.)

Räjähdysvaarallisissa tiloissa työskenteleviä ihmisiä suojellaan Euroopan Yhteisön direktiiveillä 94/9/EY (laitedirektiivi) ja 1999/92/EY (työolosuhdedirektiivi). Niistä käytetään nimitystä ATEX (atmosphères explosibles). Ihmisten suojelun lisäksi niiden on tarkoitus yhtenäistää EU:n jäsenvaltioiden räjähdysvaarallisten tilojen ja niissä käytettävien laitteiden ja koneiden turvallisuusvaatimuksia, sekä taata Ex-laitteiden vapaa kauppa. (Tukes, ATEX-opas, 4.)

Tuotantolaitokset ja työpaikat, joissa räjähdysvaara voi aiheutua palavista nesteistä, kaasuista tai pölyistä ovat ATEX-työolosuhdedirektiivin piirissä. Se koskee myös ihmisiä, jotka työskentelevät Ex-tiloissa ja rakentavat tai suunnittelevat Ex-tiloja. Direktiivi saatettiin voimaan kansallisesti valtioneuvoston asetuksella 1.9.2003. Voimaantuloapäivämäärästään lähtien se on koskenut uusia räjähdysvaarallisia tiloja ja vanhoissa tiloissa tehtäviä korjauksia ja muutoksia. Vanhempien tilojen vaatimukset koskivat 1.7.2006 alkaen. (Tukes, ATEX-opas, 4-5.)

Räjähdysvaarallisiin tiloihin tarkoitettujen laitteiden ja suojausjärjestelmien kauppamista, toiselle luovuttamista tai käyttöönottoa koskevat vaatimukset tulivat ATEX-laitedirektiivin osalta voimaan täysimääräisesti 1.7.2003. Käytännössä säädökset koskevat laitteiden, suojausjärjestelmien ja tiettyjen komponenttien markkinoille saattajia, kuten valmistajia, maahantuojia, jälleenmyyjiä ja laitteen omaan käyttöön valmistavia. (Tukes, ATEX-opas, 4-5.)

Työnantajan on huolehdittava räjähdysuojasiasiakirjan laatimisesta ja ajan tasalla pitämisestä. Räjähdysuojasiasiakirja voi olla myös osana muuta työpaikalla laadittua turvallisuusasiakirjaa. Räjähdysuojasiasiakirjassa esitetään räjähdysvaarallisten tilojen luokittelu. Räjähdysuojasiasiakirja laaditaan ennen kuin toiminta uudessa tilassa aloitetaan. Se on myös tarkistettava, jos työskentelytilaa tai työtapoja muutetaan, laa-

jennetaan tai järjestetään uudelleen niin, että ne vaikuttavat tilaluokituksen muuttumiseen. (Kauppila et al., 102-103.)

3.1 Vaatimukset ja sähkölaitteiden valinta

Räjähdystvaarallisissa tiloissa käytettäville laitteille on asetettu erilaisia vaatimuksia, jotka niiden tulee täyttää. Laitevaatimuksia ovat mm:

- laiteryhmiä ja laiteluokkien olennaiset turvallisuusvaatimukset
- vaatimustenmukaisuuden arviointi
- EY-vaatimustenmukaisuusvakuutus
- CE-merkintä ja erityinen Ex-merkintä
- laiteryhmiä ja -luokkaa kuvaava merkintä. (Tukes, ATEX-opas, 8.)

Kuvassa 3.1. on esimerkki laitteeseen tehtävästä merkinnästä, josta ilmenee millaiseen räjähdysturvalliseen tilaan se soveltuu käytettäväksi. Merkinnän **II 2G Ex ed IIC T6 Gb** mukaan kapillaaritermostaatti kuuluu laiteryhmään II, eli se soveltuu räjähdysturvallisiin olosuhteisiin, mutta ei kuitenkaan kaivoksiin. 2G tarkoittaa, että se soveltuu kaasuräjähdysturvallisiin tiloihin ja sitä voidaan käyttää tilaluokan 2 tiloissa. Ex on räjähdysturvallisuus. Merkintä ed tarkoittaa varmennettua rakennetta, joka kestää myös räjähdyspaineen. IIC kertoo laitteen räjähdysryhmän. IIC on vaatimuksiltaan tiukin ryhmä, jonka laitteet sopivat vetyräjähdysturvallisiin tiloihin. Räjähdysryhmät on lisäksi jaettu lämpötilaluokkiin. Kyseinen termostaatti soveltuu lämpötilaluokkaan T6. Se tarkoittaa, että sähkölaitteen suurin sallittu pintalämpötila on 85 °C. Gb on valmistajan lisäämä EPL-laitesuojausluokan (Equipment protection level) mukainen merkintä, joka vastaa tilaluokkia 1 ja 2. (SFS-EN 60079-14, 25.)



Kuva 3.1. Räjähdysvaaralliseen tilaan soveltuvan kapillaaritermostaatin merkinnät. (L&T Recoil Oy.)

Laitteen valinta

Kappale käsittelee laitteen valintaa räjähdysvaaralliseen tilaan, jossa vaara aiheutuu joko palavasta nesteestä, kaasusta, höyrystä tai sumusta. Pölyräjähdysvaarallisiin tiloihin, sekä varsinaisia räjähdysaineita sisältäviin tiloihin on myös omia erityisvaatimuksiaan, mutta niitä ei tässä tarkemmin eritellä. Pölyräjähdysvaarallisiin tiloihin liittyviin laitevalintoihin ja asennuksiin löytyy tarvittaessa tietoa esimerkiksi standardista SFS-EN 61241-14.

Tilaluokitus määrittää mitä laitteita ja suojausrakenteita kuhunkin kohteeseen voidaan valita. Lisätietoa tilaluokituksista ja räjähdys-suojauksirakenteista löytyy kappaleista 3.2 ja 3.3.

- Jos tilaluokaksi on määritetty 0, saa kohteessa käyttää ainoastaan rakenteita Exia tai Exs.
- Tilaluokan ollessa 1, sopivat kohteeseen 0-luokkaan sopivien laitteiden lisäksi räjähdys-suojauksirakennetta Exib, Exd, Exe, Exm, Exo, Exp ja Exq olevat laitteet.
- 2-luokan tiloihin sopivat edellä mainittujen lisäksi erityiset tilaluokkaan 2 suunnitellut laitteet, joissa suojausrakenne on Exn. 2-luokassa voidaan käyttää myös laitteita, jotka täyttävät teollisuussähkölaitteita koskevien standardien

vaatimukset, eivätkä normaalitilanteissa aiheuta valokaaria tai kipinöitä. Edellä mainittujen seikkojen arvioinnin tulee kuitenkin olla asiantuntijan suorittama. (Kauppila et al., 128-129.)

Laitteet sekä palavat nesteet ja kaasut on jaoteltu räjähdysryhmiin, joiden yhteensopivuus tulee laitteita valittaessa tarkastaa. Taulukossa 3.1. on esitetty räjähdysryhmien mukainen valintaohje.

Taulukko 3.1. Räjähdysryhmät ja räjähtävät aineet. (Kauppila et al., 129; SKS Automaatio 4.4.2013.)

Laitteen räjähdysryhmä	Palavan kaasun tai nesteen räjähdysryhmä, jossa laitetta saa käyttää	Räjähtävä aine
IIA	IIA	Asetoni, Petroli, Metanoli, Propani, Tolueeni
IIB	IIA, IIB	Valokaasu, Etyleni
IIC	IIA, IIB, IIC	Vety, Asetyleeni

Sähkölaitteelle sallitaan tietty enimmäislämpötila, jonka perusteella syttymisryhmät T1-T6 on jaoteltu. Lämpötila voi myös kuvata räjähdyskelpoisen seoksen alhaisinta syttymispistettä. Syttymisryhmien luokittelu esitetään taulukossa 3.2.

Laitteeseen on merkitty, mihin syttymisryhmään se on tarkoitettu. Vaihtoehtoisesti laitteeseen voi olla merkitty, mille aineelle se on tarkoitettu. Siihen voi myös olla merkitty korkein lämpötila, joka laitteessa esiintyy ja jota korkeampi on räjähdysvaaran aiheuttavan aineen syttymislämpötilan oltava. Syttymisryhmän mukainen sähkölaitteen valinta on esitetty taulukossa 3.3. (Kauppila et al., 129-130.)

Taulukko 3.2. Syttymisryhmät. (Muokattu lähteestä Kauppila et al., 130.)

Syttymisryhmä	Kaasun (höyryn) syttymislämpötila °C	Sähkölaitteen suurin sallittu pintalämpötila	Lämmityskaapelin suurin sallittu pintalämpötila
T1	> 450	450	440
T2	300-450	300	290
T3	200-300	200	195
T4	135-200	135	130
T5	100-135	100	95
T6	85-100	85	80

Taulukko 3.3. Sähkölaitteen valinta. (Kauppila et al., 130.)

Laitteen syttymisryhmä	Palavan nesteen tai kaasun syttymisryhmä, jossa laitetta saa käyttää
T1	T1
T2	T1, T2
T3	T1, T2, T3
T4	T1, T2, T3, T4
T5	T1, T2, T3, T4, T5
T6	T1, T2, T3, T4, T5, T6

3.2 Tilaluokitus

Laitoksen omistajan tai haltijan velvollisuutena on laatia tilaluokitus. Se voidaan tehdä yrityksen omin voimin tai ulkopuolista asiantuntijaa apuna käyttäen. Tärkeintä sen laatimisessa on, että tilaluokituksen tekijä tuntee vaaran aiheuttavat aineet ja prosessit. Laitoksen prosessitekniikan suunnittelijan ja sähkösuunnittelijan on myös tärkeää käydä läpi tilaluokitussuunnitelmat jo varhaisessa vaiheessa, jotta räjähdysvaaralliset tilat otetaan huomioon. Tilaluokitus voidaan dokumentoida joko pohja- tai poikkileikkauspiirroksella, tai taulukkomuodossa tarpeellisine tietoineen. Se on myös osa räjähdys-suojausasiakirjaa, joka on pyydettyäessä esitettävä valvontaviranomaisille. (Kauppila et al., 103-104.)

Räjähdysvaaralliset tilat luokitellaan palavaa nestettä tai kaasuja sisältäviin, sekä pöly-
räjähdysvaarallisiin luokkiin seuraavasti:

- Tilaluokka 0
 - Tilaluokassa 0 ilman ja kaasun, höyryn tai sumun muodossa olevan palavan aineen muodostama räjähdyskelpoinen ilmaseos esiintyy jatkuvasti, pitkäaikaisesti tai usein.
- Tilaluokka 20
 - Tilaluokassa 20 ilman ja palavan pölyn muodostama räjähdyskelpoinen ilmaseos esiintyy jatkuvasti, pitkäaikaisesti tai usein.
- Tilaluokka 1
 - Tilaluokassa 1 ilman ja kaasun, höyryn tai sumun muodossa oleva palavan aineen muodostama räjähdyskelpoinen ilmaseos esiintyy normaalitoiminnassa satunnaisesti.
- Tilaluokka 21
 - Tilaluokassa 21 ilman ja palavan pölyn muodostama räjähdyskelpoinen ilmaseos esiintyy normaalitoiminnassa satunnaisesti.
- Tilaluokka 2
 - Tilaluokassa 2 ilman ja kaasun, höyryn tai sumun muodossa olevan palavan aineen muodostaman räjähdyskelpoisen ilmaseoksen esiintyminen normaalitoiminnassa on epätodennäköistä ja se kestää esiintyessään vain lyhyen ajan.
- Tilaluokka 22
 - Tilaluokassa 22 ilman ja palavan pölyn muodostaman räjähdyskelpoisen ilmaseoksen esiintyminen normaalitoiminnassa on epätodennäköistä ja se kestää esiintyessään vain lyhyen ajan. (Tukes, ATEX-opas, 11.)

Kuhunkin tilaan voidaan valita vain sinne soveltuvia laitteita ja suojausjärjestelmiä. Tilaluokkia vastaavat laiteluokat kaasuille ovat 1G, 2G ja 3G. Pölyille ne ovat vastaavasti 1D, 2D ja 3D. (Välilä 2010, 34.) Tästä seuraa, että kaikista vaativimpiin tilaluokkiin 0 ja 20 voidaan valita vain laitteita, joiden luokka on 1G tai 1D. Vastaavasti tilaluokkaan 1 sopivat laitteet luokista 1G ja 2G, ja tilaluokkaan 21 sopivat 1D ja 2D jne.

3.3 Räjähdyssuojusrakenteet

Räjähdyssvaarallisiin tiloihin valittavilla sähkölaitteilla on erilaisia räjähdyssuojusrakenteita, joiden periaatteet on hyvä tuntea. Räjähdyssuojauksen toteuttamiseen on kaksi erilaista pääperiaatetta. Voidaan huolehtia, että vaarallista lämpötilaa tai kipinää ei synny (Exe, Exi(a/b), Exs). Vaihtoehtoisesti vaarallinen lämpötila tai kipinä eristetään siten, että laitteen ulkopuolinen räjähdyskelpoinen seos ei voi syttyä (Exd, Exq, Exo, Exp, Exm, Exs). (Kauppila et al., 119.)

Varmennettu rakenne Exe

Tämän rakenteen sähkölaitteet perustuvat siihen, että niissä ei normaalikäytössä saa esiintyä kipinöintiä, valokaaria tai kuumia pintoja, jotka voivat sytyttää laitteen sisä- tai ulkopuolella olevan räjähdyssvaarallisen seoksen. Näitä laitteita ei jaeta räjähdyssryhmiin A, B tai C, sillä suojaus perustuu kipinöinnin estämiseen. Niihin merkitään lämpötilaluokka T1-T6 tai laitteen korkein pintalämpötila. Exe-rakenne on yleinen muun muassa oikosulkumoottoreissa, jakorasioissa ja kytkentäkoteloissa. (Kauppila et al., 121-122.)

Luonnostaan vaaraton rakenne Exi

Luonnostaan vaarattomassa virtapiirissä on sen energia rajoitettu arvoon, jossa se ei pysty sytyttämään räjähdyssvaarallista seosta. Rajoitusvaatimus koskee räjähdyssvaarallisella alueella olevien laitteiden virtapiirejä, kaapeleita, sekä vaarattomalla alueella olevia liitännäislaitteita. Laitteet jaetaan räjähdyssryhmiin A, B ja C, joista ryhmän C laitteilla kipinän energia on pienimmäksi rajoitettu. Lisäksi laitteissa on merkintä lämpötilaluokasta T1-T6 tai korkein pintalämpötila. Rakenne on yleinen instrumentointilaitteissa. (Kauppila et al., 122.)

Räjähdysspaineen kestävä rakenne Exd

Räjähdysspaineen kestävä rakennetta oleva sähkölaitte voi sisältää normaalikäytössä kipinöiviä tai kuumia osia, jotka voivat aiheuttaa räjähdyskelpoisen kaasuseoksen syttymisen. Kotelon sisällä tapahtuva räjähdys ei saa levitä kotelon ulkopuolelle. Tyypillisesti räjähdysspaine puretaan pitkien ja ahtaiden saumojen kautta. Laitteissa on merkintä räjähdyssryhmästä A, B tai C. Ryhmässä C sallittu saumojen rakojen koko on

pienin. Laitteissa on myös merkintä lämpötilaluokasta T1-T6 tai korkeimmasta pintalämpötilasta. Rakennetta käytetään esimerkiksi kytkimissä, moottoreissa ja lämmityslaitteissa. (Kauppila et al., 120-121.)

Hiekkatäytteinen rakenne Exq ja öljytäytteinen rakenne Exo

Näissä suojausrakenteissa sähkölaitteiden kipinäointi tai kuumat osat on suojattu upottamalla ne hiekkaan tai öljyyn. Rakenteen laitteissa ei ole jakoa räjähdysryhmiin, mutta lämpötilaluokka T1-T6 tai korkein pintalämpötila on merkitty. (Kauppila et al., 123-125.)

Suojatuuletteinen rakenne Exp

Suojatuuletetussa laitekotelossa pidetään yllä ylipainetta suojakaasun, kuten puhtaan ilman, avulla. Kotelon sisällä voi olla osia, jotka kipinäövät tai kuumenevat normaali-käytössä. Suojausta ylläpidetään joko huuhtelemalla puhdasta ilmaa järjestelmän läpi jatkuvasti, tai korvaamalla ulosvuotava ilma. Ylipainetta tai kaasun virtausta täytyy valvoa. Rakenteen laitteet jaotellaan lämpötilaluokkien T1-T6, kotelon korkeimman pintalämpötilan tai kotelon sisällä olevien laitteiden korkeimman lämpötilan mukaan. Rakennetta käytetään esimerkiksi moottoreissa, ohjauskaapeleissa ja instrument-tiasennuksissa. Exp-periaatetta sovelletaan myös suojatuuletteisissä huoneissa, kuten valvomoissa tai kokonaisissa rakennuksissa. (Kauppila et al., 124.)

Suojausrakenne Exn

Erityisesti tilaluokassa 2 käytettäväksi suunniteltu laite, jonka suojaus vastaa tilaluokassa 1 käytettäviä rakenteita, mutta pienemmällä vaatimustasolla ja ilman vikatilanteiden tarkastelua. (Kauppila et al., 125.)

4 SÄHKÖSAATTOJEN TOTEUTTAMINEN RÄJÄHDYSVAARALLISISSA TILOISSA

Sähkösaattojen toteuttamiseen ATEX-tiloissa on otettava huomioon monia asioita, jotka rajoittavat sopivan kaapelin ja saattojärjestelmän muiden komponenttien valintaa. Tärkeintä on varmistaa, että käytettävä kaapelityyppi ja muut laitteet on hyväksytty kyseisen tilan olosuhteisiin. Dokumentteiksi tarvitaan laitteiden räjähdys-suojausser-tifikaatit.

4.1 Kaapelin valinta

Kaapelin tulee olla hyväksytty käytettäväksi räjähdysvaarallisissa tiloissa. Regenerointilaitoksella käytettävien lämmityskaapeleiden tulee lisäksi kestää höyrypuhalluksesta aiheutuva 150 °C:n lämpötila. Laitoksella on huonoja kokemuksia kaapeleista, jotka eivät ole tätä kestäneet. Myös kemialliset ja mekaaniset rasitukset täytyy ottaa huomioon. Usein putkilinjassa esiintyvän korkeimman lämpötilan salliessa käytetäänkin hyvän kemikaalien kestäkyvyn omaavia fluoropolymeerivaippaisia (Teflon) kaapeleita.

Kaapelityypin valinnassa pitää huomioida aiemmat kokemukset kaapelin soveltuvuudesta kohteeseen. Jos kaapeli ei ole kestänyt toivotulla tavalla, kannattaa miettiä pitäisikö kokeilla jotakin toista kaapelityyppiä. On myös huomioitava kokonaistaloudellisuus, johon vaikuttavat lämmityskaapelin hinnan lisäksi:

- asennusmateriaalin kustannukset
- syöttö- ja ohjauskaapelointi
- ohjaustapa
- keskuslähtö
- tilaluokitus
- käyttö- ja kunnossapitokustannukset. (PSK 8101, 6.)

Kaapelin valitsemisen nyrkkisäännöt regenerointilaitoksella:

- Kohteessa esiintyvän lämpötilan salliessa valitaan fluoropolymeerivaippainen lämmityskaapeli.
 - Jos prosessin tuotteen lämpötila on lähellä fluoropolymeerivaippaisten kaapelien suurinta kestoämpötilaa, valitaan metallivaippainen kaapeli.
- Instrumenttien ja impulssiputkien lämmitykseen käytetään itserajoittuvaa lämmityskaapelia.
 - Esimerkiksi impulssiputkilinjojen kaksoiseristyslämmityksissä, joissa lämmityskaapeli tulee eristyskerrosten väliin, pitää kaapelin olla itserajoittuva.
- Metallivaippaista lämmityskaapelia käytetään kohteissa, joiden säätölämpötila on yli 200 °C.
- Bitumiputkien lämmitykseen käytetään ainoastaan metallivaippaisia kaapeleita.
- Lyhyehköt putket, joiden pituus määräytyy tarkemmin asennuspaikalla, lämmitetään itsesäätyvällä lämmityskaapelilla. (Tammisto 9.4.2013; PSK 8101, 6.)

4.2 Maksimilämpötilan määrittäminen

Erityisesti kaasuräjähdyksivaarallisissa tiloissa on tärkeää määritellä saattolämmityksen maksimilämpötila. Seuraavassa on mainittu esimerkkejä sovelluksista, joissa maksimilämpötilan määrittäminen on tarpeen.

- Ei-metallisia putkia saatettaessa, sillä saattolämmityksen maksimilämpötila voi saavuttaa lämmitettävän kohteen, lämpöeristeen tai järjestelmän muun komponentin suurimman kestoämpötilan.
- Sähkösaattosovellukset, joissa ei ole lainkaan säätöä tai on vain ympäristön lämpötilaan perustuva säätö ja joilla on tasapainotilanteessa korkea lämmityskaapelin vaipan lämpötila.
- Kriittiset sähkösaattosovellukset, joissa vaaditaan prosessilämpötilan säädölle suurta tarkkuutta.

- ***Kaasuräjähdyksivaarallisten tilojen sovelluksissa*** saattolämmityksen vaipan lämpötila ei saa ylittää tilan T-arvoa, vaikka oletetaan, että säätötermostaatti ei toimi. (SFS-EN 60079-30-2, 22.)

Maksimilämpötila määritetään kohteen mukaan. Kaasuräjähdyksivaarallisiin tiloihin liittyvät syttymisryhmien mukaiset suurimmat sallitut lämmityskaapelin pintalämpötilat löytyvät taulukosta 3.2. sivulta 34.

Lämpötilan ylärajan ylittämisen estämiseen on olemassa kolme mahdollisuutta:

- turvallisiksi mitoitus, kappaleessa 2.2.4
- kaapelin PTC-ominaisuus, kappaleessa 2.4.2
- rajoittimen tai säätölaitteen käyttö, kappaleessa 2.5.2.

4.3 Laitteiden asentaminen

Asennuksia tekevien henkilöiden tulisi olla perehdytettyjä L&T Recoil Oy:n laitoksella käytettäviin asennusmenetelmiin, kuten käytössä olevien kaapeleiden päättämiseen ja liitosten tekoon. Ennen kuin saattokaapelit asennetaan uuteen tai kunnostettuun putkilinjaan, täytyy putken olla koeponnistettu.

Kuvassa 4.1. nähdään esimerkki sähkösaattokaapelin ja asennuslevyn kiinnittämisestä. Lämmityskaapelin kiinnitykseen on käytetty lasikuituteippiä ja asennuslevy on kiinnitetty putkeen metallivanteella. Asennuslevyn kiinnityskohdassa kaapelilla on myös tehty ylimääräinen lenkki riittävän lämmitystehon saamiseksi. Kun saattokaapelit on asennettu, kannattaa ne suojata mekaanisilta vaurioilta ja kastumiselta ennen eristystöiden aloittamista. Työt tulisi organisoida siten, että eristystyöt aloitetaan mahdollisimman pian sen jälkeen, kun saattokaapelit on asennettu ja testattu.

Asentajan tai työn valvojan tulee varmistaa, että eristeen tyyppi, sisähalkaisija ja paksuus vastaavat saattosuunnittelussa käytettyjä arvoja. Käyttölämpötilan ylläpitäminen ei välttämättä ole mahdollista, jos eristepaksuus poikkeaa suunnitellusta. Säätösuoja ja eristeen välisestä tiiveydestä on myös huolehdittava. Suunniteltua pintalämpötilaa tai vaadittua lämpötilaluokkaa ei välttämättä saavuteta eristeen asennuksessa tapahtuvien poikkeamien vuoksi. Standardissa suositellaan lisäksi tilapäisen säätösuoja käytämistä eristysmateriaalin varastoinnin, käsittelyn ja asentamisen aikana. Tällä välte-

tään lopullisen säänsuojan sisäpuolelle eristeeseen kulkeutuvaa kosteutta. Kapillaari-termostaattien, lämmityskaapeli ym. läpiviennit eristeen sisään tulisi tiivistää ja suojata rikkoontumiselta. (SFS-EN 60079-30-2, 45.)



Kuva 4.1. Sähkösaaton asennus. (L&T Recoil Oy.)

Putken eri puolille eristepeltiin asennetaan ”Sähkölämmitys”-varoitustarroja sopivin välein (noin 3-6 m). Eristepeltiin kannattaa merkitä kytkentäpisteiden, liitäntöjen ja muiden lämpökaapelin komponenttien paikat. Räjähdysvaarallisissa tiloissa lämmityspiirin tiedot sisältävät tunnistekyltit ovat myös pakollisia. (Installation, maintenance and operation manual, 28.)

4.3.1 Järjestelmän maadoitus

Asennusten yhteydessä pitää huolehtia järjestelmän maadoituksen kunnollisuudesta. Maadoitusvaatimukset standardin SFS-EN 60079-30-2 mukaan ovat seuraavanlaiset:

- *Metallinen ulkovaippa, metallipunos, tai lämmityskaapelin muu vastaava johtavuuden omaava materiaali tulee liittää maadoitusjärjestelmään osaksi tarvittavaa maadoitusvirtapiiriä.*

- *Sovelluksissa, joissa metallivaippa, metallipunos tai muu vastaavan johtavuuden omaava materiaali on olennainen osa varsinaista maadoitusvirtapiiriä, materiaalin kemiallinen kestävyys tulee huomioida, mikäli altistuminen syövyttävälle höyryille tai nesteille on mahdollista.*
- *Ruostumatonta terästä olevilla punoksilla ja vaipoilla on tyypillisesti suuri ominaisresistanssi eivätkä ne välttämättä tarjoa kunnollista maadoitusta. Tulisi harkita varautumista vaihtoehtoisiin maadoitustapoihin tai täydentävään maasulkusuojaukseen. (SFS-EN 60079-30-2, 39.)*

4.3.2 Eristysvastusmittauksen suorittaminen

Eristysresistanssin testauksessa mitataan johtimien ja metallisen suojavaipan välinen eristysresistanssi lämmityskaapelin asennuksen jälkeen. Pentair Thermal Management ja PSK-standardi 8101 suosittelevat eristysresistanssin mittaamista myös ennen kaapelin asennusta, lämpöeristyksen asentamisen jälkeen sekä osana säännöllistä kunnossapitoa. (Installation, maintenance and operation manual, 32.)

Räjähdysvaarallisilla alueilla on tulipalon vaara ja eristysresistanssin mittaukset voivat aiheuttaa kipinäintiä. Testin suorittamiseen tarvitaankin tulityölupa, jolloin varmistetaan, ettei alueella ole syttyviä höyryjä. Testijännitteenä johtimen ja metallivaipan välillä käytetään vähintään 500 VDC. Mittausten minimiarvon tulisi olla suuruusluokaltaan $\geq 200 \text{ M}\Omega$. Asentajan tulee merkitä kunkin piirin arvot pöytäkirjaan. (Installation, maintenance and operation manual, 32; PSK 8101, 8.)

4.4 Laitteiden käyttöönotto ja koestuspöytäkirja

Urakoitsijan kuuluu sähkösaattoasennuksien yhteydessä suorittaa mittauksia ja merkitä tulokset koestuspöytäkirjaan. Kirjattavia asioita ovat esimerkiksi lämpökaapelin tyyppi ja pituus, vikavirtasuojakytkimen tiedot, kytkentävirta, oikosulkuvirta ja eristysvastusresistanssi. (PSK 8101, Koestuspöytäkirjan malli.)

Standardissa SFS-EN 600079-30-2 on esitetty esimerkit dokumenteista: tarkistuslista ennen käyttöönottoa ja asennuspöytäkirja, käyttöönottopöytäkirja sekä kunnossapitopöytäkirja. Tarkistuslista toimii hyvänä apuvälineenä asennuksien yhteydessä varmistamassa, että tarvittavat mittaukset suoritetaan ja asennuksien asianmukaisuutta arvi-

oidaan. Käyttöönottopöytäkirjaan kirjataan vastaavia tietoja lämmityspiiristä, kuten työn liitteenä olevassa sähkösaattotaulukossa on tehty.

4.5 Laitteiden kunnossapito

Sähkösaattojärjestelmän taloudellinen kunnossapito edellyttää riittävää ja yhdenmukaista dokumentointia. Jos jossakin sähkösaattopiirissä ilmenee vika, on kunnollisesta dokumentoinnista hyötyä vian nopeaan korjaukseen. Tuotantoprosessin kehittyessä, kohdistuu todennäköisesti myös sähkösaattojärjestelmään muutos- tai laajennustarpeita, jolloin dokumentointi helpottaa sähkösaattoasiantuntijan työtä. Dokumentit olisikin hyvä pitää ajan tasalla ja päivittää sitä mukaa, kun muutoksia saattojärjestelmään tehdään. (SFS-EN 60079-30-2, 48.)

Kunnossapitohenkilöstölle täytyy korostaa, että kaapeleita pitää käsitellä varovasti. Niitä ei saa esimerkiksi taivuttaa liikaa tai lytätä. Erityisesti metallivaippaisten vakiovastuskaapeleiden mineraalieriste imee kosteuden itseensä jos vaippa vaurioituu, jolloin kaapelista tulee käyttökelvoton. Ongelma korostuu kohteissa, joissa tapahtuu usein kunnossapitotöitä ja lämpöeristyksiä täytyy purkaa. (Tammisto 13.3.2013.)

Saattolämmityspiireissä tapahtuvia vikoja kannattaa tilastoida, jolloin heikot kohdat on helpompi selvittää ja ongelmat ratkaista. Suunnittelijoille negatiivisen palautteen antaminen on tärkeää, jotta jatkossa välttyttäisiin turhilta ongelmilta.

4.6 Tarkastukseen ja huoltoon liittyviä asioita

Mahdollisten mekaanisten vaurioiden havaitsemiseksi on tärkeää tehdä säännöllisesti lämmityskaapelin ja putkiston eristyksen silmämääräisiä tarkistuksia. Järjestelmä tulee myös testata säännöllisesti. Mittaustuloksia kirjataan ylös aina kyseessä olevien piirien huollon aikana.

Kuten aiemmin todettiin, eristysresistanssimittauksen suorittaminen räjähdysvaarallisella alueella edellyttää tulityölupaa. Jos eristysresistanssi mitataan syöttökeskuksesta, mittausta suoritetaan L:n (vaihe) ja PE:n (suojava) välillä. Sähköturvallisuuden takaamiseksi johdonsuoja-automaatti ja vikavirtasuojakytkin pitäisi koestaa vähintään kerran vuodessa tai valmistajan antamien ohjeiden mukaisesti.

Lämpötilan säätöjärjestelmän koestus tulee suorittaa säännöllisesti, jotta varmistutaan siitä, että se toteuttaa sille asetetut vaatimukset. Räjähdysvaarallisten alueiden vaatimusten noudattamisen kannalta lämpötilan rajoituspiirin toimintaa on myös tärkeä testata.

Ennen talvea olisi syytä testata myös sulanapitoon käytettävät saattolämmitysjärjestelmät, jotta vältetään ikäviltä yllätyksiltä. Lisäksi prosessilämpötilaa ylläpitävät järjestelmät olisi hyvä koestaa vähintään kaksi kertaa vuodessa.

Putkistokorjausten ja huoltotoimenpiteiden yhteydessä lämpökaapeliin kytketään jännitteettömäksi. Lämmityskaapelin turhan vaurioitumisen välttämiseksi, kannattaa se suojata mekaanisilta tai lämmön aiheuttamilta vaurioilta putkitöiden aikana. Putkitöiden jälkeen lämpökaapelin asennus tarkistetaan ja samalla varmistetaan, että lämpöeristys on suositusten mukainen. Lopuksi tarkistetaan sähköturvallisuusjärjestelmien toiminta. (Installation, maintenance and operation manual, 33-34.)

4.7 Dokumentointi

Suositukset sähkösaattojärjestelmän jokaisen saattopiirin dokumentoitavista asioista on koottu taulukkoon 4.1. standardista SFS-EN 60079-30-2. Järjestelmän ylläpitoa helpottaa mitä kattavammin saattopiirit on dokumentoitu ja pidetty ajan tasalla. Laitoskohtaiset dokumentit olisi myös hyvä pitää mahdollisimman selkeinä ja tehdä yhdenmukaisella tavalla.

Regenerointilaitoksen saattopiirien dokumentoinnista on lisätty liitteisiin esimerkit ryhmityspiirustuksista putkistolle ja säiliölle (Liite 3.). Esimerkeiksi työhön on saatu käyttöön myös sähkösaattotaulukoita (Liite 4.). Sähkösaattotaulukosta selviää muun muassa saattopiirien tunnuksat, saatettavat putkilinjat, lämpökaapelien tiedot ja rajoitustermistaattien asetusarvot.

Taulukko 4.1. Saattopiireistä tehtäviä dokumentteja. (Koottu lähteestä SFS-EN 60079-30-2, 48-49.)

Suunnittelu- ja testausdokumentit	Piirikaaviot tai luettelot	Muut dokumentit
Sisällysluettelo	Kaapelointi- ja piirikaaviot tai luettelot	Yksittäisten laitteiden tekniset kuvaukset ja ohjekirjat
Putkistopiirustus, johon on merkitty saattopiirit, syöttörsiat, liitokset, jatkot, haaroitukset ja loppupäätteet sekä säätö- ja rajoitusantureiden paikat	Kytkenäkaaviot, kytkenälaitteet osaluetteloiheen	Suunnittelijan laatima toimintakaavio
Säiliöille: lämmityskaapelin asennuspiirustus	Asennusohjeet	Ex-laitteiden sertifikaatit
Putki- ja lämpöeristysluettelo		
Lämmityskaapeleiden piirikohtaiset pituudet		
Mitoitukseen perustuvat laskentatiedot		
Materiaaliluettelo		
Saattokaapelin asennusohjeet		
Saattokaapelin asennuspiirustus		
Lämpötila-antureiden kuvaus ja asennusohjeet		
Saattopiirin käyttöönottopöytäkirja		
Lämpötilamittausten tulokset		
Asennuksen vastaanottopöytäkirja		

5 SÄHKÖSAATOT KÄYTETYN VOITELUÖLJYN REGENEROINTILAITOKSELLA

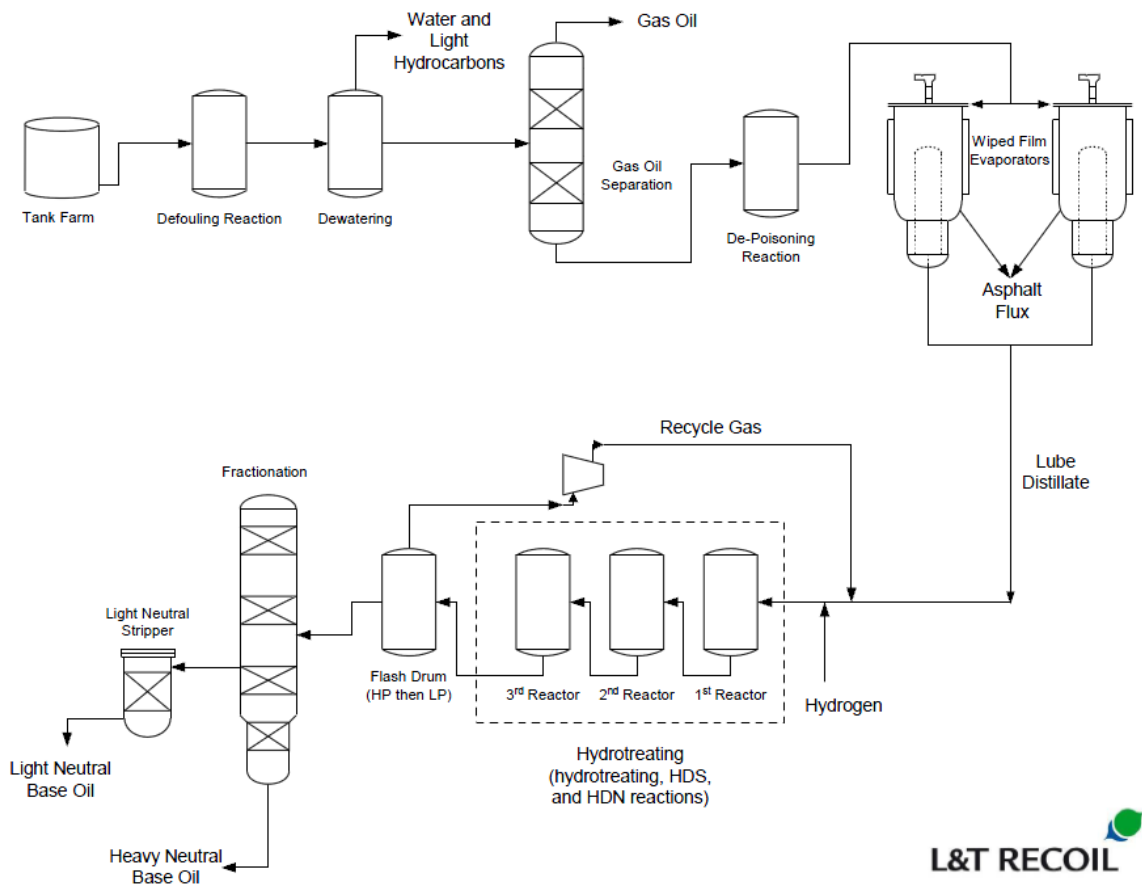
Regenerointilaitoksella on käytössä erilaisia lämmityskaapeleita ja lämmityspiirien ohjausmenetelmiä, jotka soveltuvat parhaiten aina tiettyihin putkilinjoihin. Putken ja kaapelin lämpötilan mittauksilla varustettuja sähkösaattoja on laitoksella käytössä runsaasti. Lisäksi käytetään ulkoilman lämpötilan mukaan ohjattuja sähkösaattoryhmiä, sekä kapillaaritermostaattilla ohjattavia saattoja. Luvussa pyritään antamaan mahdollisimman kattava kuva sähkösaattojärjestelmän toteutuksesta.

5.1 Käytetyn voiteluöljyn regenerointilaitos

Jalostamo käyttää raaka-aineenaan käytettyä moottoreiden voiteluöljyä. Laitoksen kapasiteetti on yhteensä noin 60 000 tonnia käytettyä voiteluöljyä ja alusperäistä öljyä vuodessa. Tästä noin 20 000 tonnia tulee kotimaasta ja loput tuodaan ulkomailta. Päätuotteena laitoksella syntyy korkealaatuista voiteluöljyn perusöljyä voiteluaineteollisuuden raaka-aineeksi enintään noin 45 000 tonnia vuodessa. Laitokselle jalostettavaksi tuotava raaka-aine on väriltään mustaa ja prosessista tuotteena saatava perusöljy on kirkasta. (L&T Recoil Oy 2013; L&T Recoil Oy 2007, 21.)

Sivutuotteena prosessista saadaan bitumia, joka myydään pääasiassa kotimaahan asfalttiteollisuudelle. Lisäksi saadaan polttokaasua ja kevyttä polttoöljyä. Sivutuotteista polttokaasua käytetään kuumaöljykattilan, jota Haminan Energia ylläpitää, polttoaineena. Kuumaöljyä käytetään prosessissa lämmönsiirtoaineena. Lisäksi kattila tuottaa prosessin tarvitseman höyryn. Kevyttä polttoöljyä saadaan kolmea eri laatua, joissa rikkipitoisuus vaihtelee. Korkearikkisen polttoöljyn rikkiyhdisteet hajotetaan laitoksella polttoöljyn sekaan sekoitettavalla kemikaalilla. (L&T Recoil Oy 2013; L&T Recoil Oy 2007, 22.)

Käytetyn voiteluöljyn regenerointi on fysikaalinen ja kemiallinen prosessi. Syötön esikäsittely tapahtuu suodattimissa. Vesi ja kevyet hiilivetyjakeet poistetaan alipaineessa höyrystrippauksella. Voiteluöljyjakeen erottaminen bitumijakeesta tapahtuu haihuttamalla. Tämän jälkeen voiteluöljyjakeesta poistetaan epäpuhtauksia ja se stabiloidaan hydraamalla noin 83 baarin paineessa. Samalla metallit erottuvat katalyyttien vaikutuksesta. Voiteluöljyjake erotellaan eri perusöljytuotteiksi tyhjötislauksella. Kuvassa 5.1 havainnollistetaan tuotantoprosessia yksinkertaistetun prosessikaavion avulla. (L&T Recoil Oy 2007, 26; Tammisto 24.4.2013.)



Kuva 5.1. Käytetyn voiteluöljyn regenerointilaitoksen yksinkertaistettu prosessikaavio. (L&T Recoil Oy 2013.)

5.2 Laitoksen räjähdysvaaralliset tilat

Regenerointilaitoksen räjähdysvaaralliset tilat on luokiteltu asianmukaisesti ja niitä on välillä 0-2. Syttymisryhmiä on puolestaan välillä T1-T4. Alueen räjähdysvaaralliset tilat ovat kaasuja tai palavaa nestettä sisältäviä. Erityisesti laitoksella käytettävä vety on räjähdysvaaraa aiheuttava aine. Kartat koko prosessialueen tilaluokituksista on saatavissa tarvittaessa. (Tammisto 13.3.2013.)

Tilaluokitusten määrittelyperiaatteesta esimerkiksi laitoksen säiliöalueen osalta voidaan mainita, että säiliöiden sisäpuoli on tilaluokaltaan 0. Tilaluokka 1 rajautuu esimerkiksi tarkastus- ja tuuletusaukkojen kohdalla kaikkiin suuntiin 4,5 metrin säteelle. Säiliön vallitilassa on myös tilaluokka 1. Vallin ja säiliön välisen etäisyyden ollessa alle 3 metriä, kuuluu vallitilan ulkopuolinen alue 3 metrin etäisyydellä säiliöstä tilaluokkaan 2. Muualla säiliön katon ja vaipan ympärillä 3 metrin etäisyydellä vallitsee tilaluokka 2. (L&T Recoil Oy, tilaluokitusdokumentti.)

5.3 Sähkösaattojärjestelmä

Regenerointilaitoksella käytettävien lämmityskaapeleiden tulee kestää putkistojen puhdistamiseen käytettävän höyryn lämpötila. Höyrypuhallukseen käytetään 3,5 baarin höyryä, jonka lämpötila on 150 °C.

Käytössä on ulkoilman lämpötilan mukaan ohjattuja kaapeleita, kapillaaritermostaattiohjattuja kaapeleita, sekä säätöjärjestelmällä (ELSET, lämpötila-anturit) ohjattavia kaapeleita.

Suorasyöttöperiaatteella toimivissa saattolämmityspiireissä sähkölähtö on koko ajan päällä. Ne ovat päävirtatermostaattiohjattuja ja niissä käytetään itserajoittuvia kaapeleita, jotka eivät siis tarvitse erillistä rajoitusta. Myös esimerkiksi lämmitetyt kenttäkotelo, joissa on oma termostaatti ohjaamassa lämmitystä, ovat suorasyöttöisiä. (Tammisto 24.4.2013.)

Saattojen piiripositiot merkitään asennuslevyyn kaiverruskylteillä ja ne ovat tyypiltään esimerkiksi:

- 11E5001 (ulkoilmatermostaattiohjatut)
- 11E6001 (suorasyöttö)
- 11E7001 (ELSET-ohjatut syöttö- ja ohjauskaapelit)



Kuva 5.2. Esimerkki ulkoilman lämpötilan mukaan ohjatusta sähkösaatosta ja kaapelin asentamisesta venttiilin kohdalle. (L&T Recoil Oy.)

5.3.1 Laitoksella käytettävät kaapelit

Seuraavassa on lueteltu ja taulukoitu erilaisia kaapelityyppejä, joita laitoksella on käytössä.

Vakiovastuskaapeleita:

Taulukko 5.1. Regenerointilaitoksella käytössä olevat vakiovastuskaapelit.

Mallinimi	Max. pituus [m]	Max. lämpötilan- kesto [°C]	Max. teho [W/m]	Syttymisryhmät
HDF1M250	330	400	70	T1-T6
HDF1M630	465	400	70	T1-T6
HDF1M1000	550	400	70	T1-T6
HDF1M1600	625	400	70	T1-T6

- HDF1M250 tarkoittaa metallivaippaista mineraalieristettyä yksijohtimista vakiovastuslämpökaapelia, jonka vastus on 0.25 ohmia/m.
- HDF1M630 tarkoittaa metallivaippaista mineraalieristettyä yksijohtimista vakiovastuslämpökaapelia, jonka vastus on 0.63 ohmia/m.
- HDF1M1000 tarkoittaa metallivaippaista mineraalieristettyä yksijohtimista vakiovastuslämpökaapelia, jonka vastus on 1.0 ohmia/m.
- HDF1M1600 tarkoittaa metallivaippaista mineraalieristettyä yksijohtimista vakiovastuslämpökaapelia, jonka vastus on 1.6 ohmia/m.

Vakiotehokaapeleita (rinnakkaisresistanssi):

Käytössä on tällä hetkellä alumiinivaippaisia 50AHT-kaapeleita. Tarkemmat tiedot löytyvät liitteenä olevasta kaapelin datalehdestä.

Taulukko 5.2. Alumiinivaippaiset vakiotehokaapelit.

Mallinimi	Max. pituus [m]	Max. lämpötilan-kesto [°C]	Nimellisteho [W/m]	Syttymisryhmät
15AHT	118	340	15	T1-T5
30AHT	83	340	30	T1-T5
50AHT	64	340	50	T1-T3
70AHT	54	340	70	T1-T2
100AHT	46	340	100	T1-T2
150AHT	37	340	150	T1

Itsesäätyviä kaapeleita:

Kaapeleiden tehokäyrät löytyvät niiden datalehdistä. Kaapelin pituus ja pituudelle so-
piva johdonsuojakatkaisija eri käynnistyslämpötiloissa on niissä myös taulukoitu.

Tyyppimerkinnässä numero tarkoittaa metritheoa W/m, kun käynnistyslämpötila on 10 °C. CF tarkoittaa fluoropolymeerivaippaista kaapelia, jossa on kupariarmeeraus. NF tarkoittaa puolestaan, että kaapelissa on nikkelikupariarmeeraus ja fluoropolymeerivaippa.

- HEATTRACE Freezstop Lite 12FSLe-CF
- HEATTRACE Freezstop Super 15FSS-CF, 30FSS-CF ja 40FSS-CF
- HEATTRACE Freezstop Ultimo 15FSU-NF

Alumiinivaippainen itserajoittuva kaapeli on käytössä esimerkiksi bitumilinjoissa. Nii-
tä käytetään myös jos prosessin tuote on liian kuumaa fluoropolymeerivaippaisille
kaapeleille.

- HEATTRACE Aluminium FailSafe (AFS)

ELSET-järjestelmän kaapelit:

- Syöttökaapelit:
 - MCMK (2x6+6)
- Ohjauskaapeleina EI käytetä armeerattua kaapelia.
 - Kaapelin tyyppi on KJAAM-RV (Reka) (4x(2+1)x0,5+2,5)

Hätäsuihkut:

- FSP Tech:n toimittama järjestelmä.

5.3.2 Lämpöeristäminen

Laitoksella käytettävistä eristeistä noin 90 prosenttia on vuorivillaa. Erityisen kuumissa kohteissa on käytössä keraaminen villa ja Armaflex-eriste. Kohteissa, joissa eristys joudutaan purkamaan, tulee noudattaa varovaisuutta. Yleisimpiä saattolämmitykseen aiheutuvia ongelmia on kaapelin päätteen tai vaipan rikkoutuminen. (Tammisto 9.4.2013.)

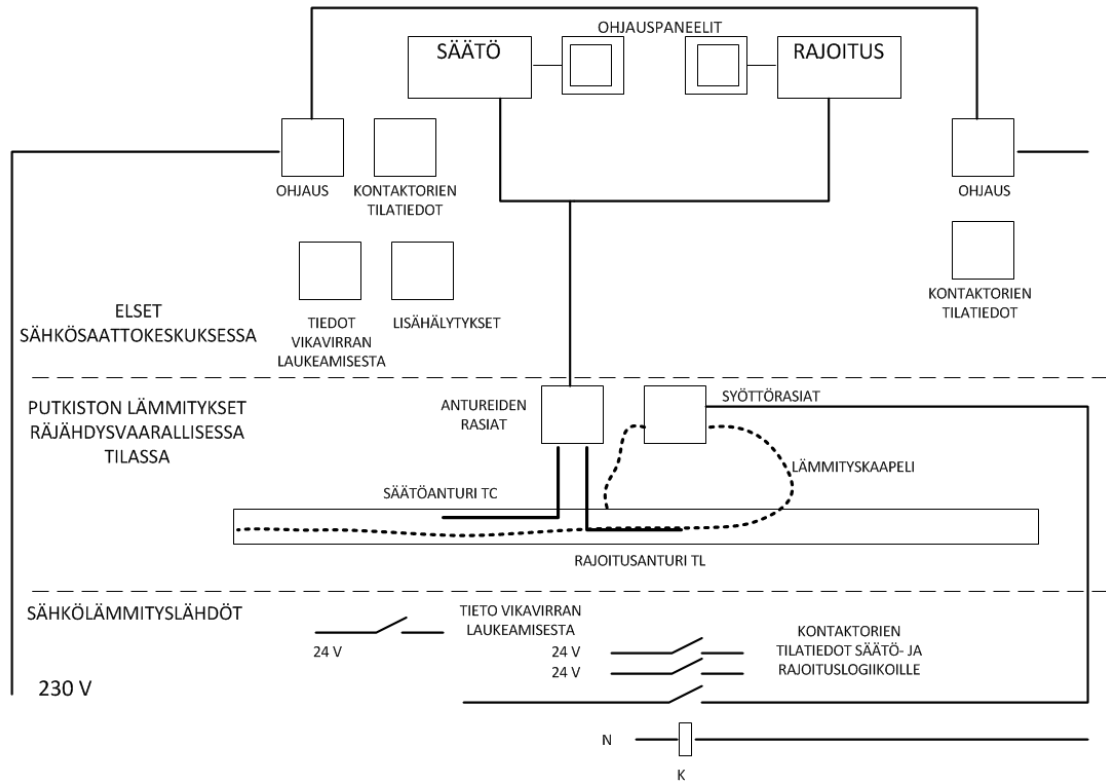
5.3.3 Saattopiirien ohjaus

Laitoksella on ulkoilman lämpötilan mukaan termostaattilla ohjattuja kaapeliryhmiä. Niissä lämmitys kytkeytyy päälle ulkoilman alittaessa tietyn lämpötilan, esimerkiksi +5 °C tai +10 °C. Laitoksella käytetään myös kapillaaritermostaateilla ohjattuja saattoja. Tärkeää lämmityksen toiminnassa ja termostaatin asetusarvon valitsemisessa on se, että vesi ei jäädy tai viskoottiset nesteet ole liian jähmeitä pumppaamista varten. (Tammisto 9.4.2013, 24.4.2013.)

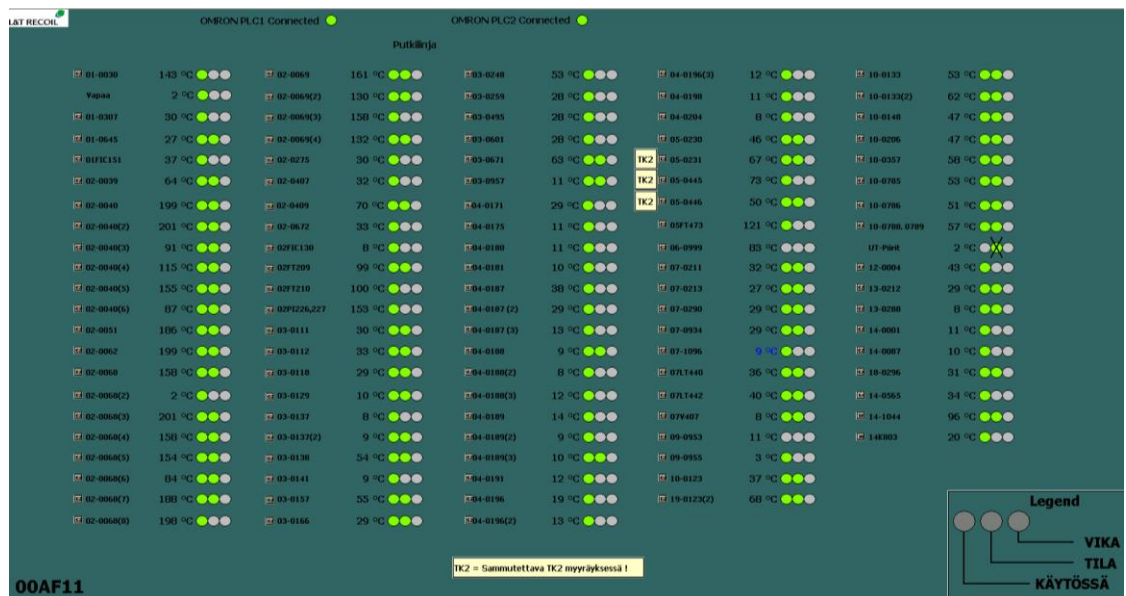
Lisäksi on käytössä säädettyjä saattoja, joissa on myös lämpötilan rajoitustoiminto. Lämpötilan säätöpiiriin viitataan tunnuksella TC. Lämpötilan rajoituspiiriin viitataan puolestaan tunnuksella TL. Saattopiirien ohjaukseen ja säätöön käytetään Are:n valmistamaa ELSET-ohjausjärjestelmää, jolla on ATEX-sertifiointi. Hyväksynnän ansiosta lämmityspiirejä voidaan ohjata myös EX-luokitelluissa tiloissa. (Are 14.4.2013.)

Laitoksen ELSET 21128 on 128-kanavainen lämmityksen säätö- ja rajoitusjärjestelmä. Se on suunniteltu teollisuuden saattolämmityspiirien keskitettyyn säätöön ja val-

vontaan. Järjestelmän keskusyksikköinä käytetään Omronin ohjelmoitavia logiikoita ja käyttäjäliittymänä ovat kosketusnäytöt sähkösaattokeskuksessa. Lämmityspiirejä voidaan tarkkailla ja ohjata myös laitoksen automaatiojärjestelmän kautta.



Kuva 5.3. ELSET-lämmitysjärjestelmän toimintaperiaate. (Oma kuva.)



Kuva 5.4. Esimerkki automaatiojärjestelmän näytöstä. (L&T Recoil Oy.)

Kuvassa 5.5. on sähkösaattokeskuksessa oleva ELSET-järjestelmän ohjauspaneeli. Säätonäytöstä nähdään säätö-ohjattujen lämmityspiirien putken lämpötilan asetusarvot ja oloarvot sekä erilaiset hälytykset. Rajoitusnäytöstä nähdään puolestaan säätö-ohjattujen lämmityspiirien kaapeleiden lämpötilan rajoittimien tila.



Kuva 5.5. ELSET-järjestelmän ohjauspaneeli. (L&T Recoil Oy.)

ELSET-järjestelmällä säädetyn saattolämmityspiirin esimerkiasennusta havainnollistetaan kuvassa 5.6. Nähdään, että vasemmanpuoleisesta rasiasta eristyksen sisään lähtevät lämmityskaapeliin liitettävät kylmäkaapelit. Oikeanpuoleisesta rasiasta lähtevät putken ja kaapelin lämpötilaa mittaavat anturit. Piiripositioista (02E7113) nähdään myös, että kyseessä on säätölähtö.



Kuva 5.6. ELSET-järjestelmällä ohjattu sähkösaatto, jossa on lämpötilan säätö (TC) ja rajoitus (TL). (L&T Recoil Oy.)

5.4 Sähkösaattojen asennuskäytännöt, -suositukset ja -tyyppikuvat

L&T Recoil Oy:n sähkösaattojärjestelmän toteutuksessa on joitakin hyväksi havaittuja käytäntöjä, joita seuraavassa pyritään esittämään. Esimerkiksi bitumipumppujen imu-linjoissa, joissa lämpöeristystä joudutaan usein purkamaan, on sähkösaatot rakennettu siten, että saattokaapeleita ei tarvitse irrottaa putkesta. Jatkossa tähän kappaleeseen voidaan lisätä myös uusia menettelytapoja, joita laitoksella halutaan noudatettavan.

5.4.1 Kaapeleiden kiinnittäminen

Saattokaapeleiden asentamisessa tulee noudattaa kaapelitoimittajien antamia ohjeita. Kaapeleita kiinnitettäessä putkistojen pinnan pitäisi olla puhdas ja sileä. Laippojen ja venttiileiden kohdalla pitää kiinnittää huomiota siihen, etteivät terävät kulmat aiheuttaisi kaapeleihin vaurioita hankautumisen tai tärinän takia. Ylimääräistä kaapelointia tarvitaan etenkin venttiileiden ja putkikannakkeiden kohdalla, jotta niistä aiheutuva ylimääräinen lämpöhäviö saadaan kompensoitua. Itserajoittuvia kaapeleita lukuun ottamatta, kaapelit eivät saa limittyä, risteillä tai koskettaa toista lämmityskaapeliosuutta. (SFS-EN 600079-30-2, 36.)

- Lasikuituteippiä käytetään fluoropolymeerivaippaisten kaapeleiden kiinnittämiseen.
- Metallivaippaisten kaapeleiden kiinnitykseen käytetään metalliverkkoa.
(Tammisto 9.4.2013.)

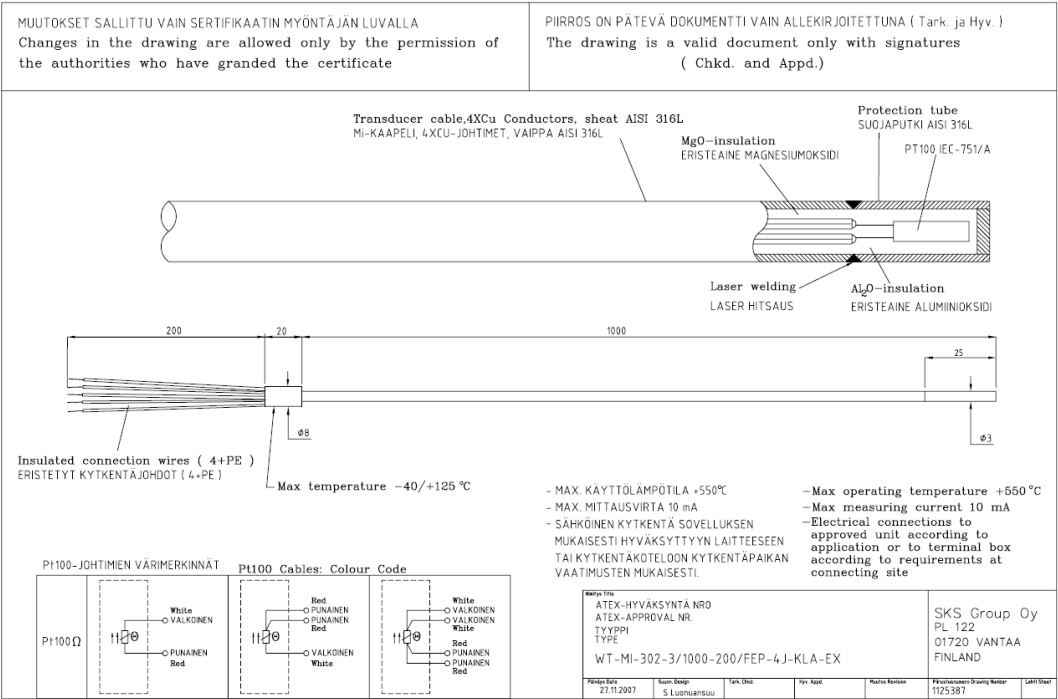
Erityisesti mineraalieristetyin vakiovastuskaapelin asentamisessa on tärkeää välttää kaapelin vääntymistä ja kiertymistä. Kaapeleille on usein myös määritetty pienin sallittu taivutussäde, joka pitää huomioida. (Installation, maintenance and operation manual, 10.)

5.4.2 Lämpötila-anturien asentaminen

Anturien asentamisessa ja sijoittelussa on useita huomioitavia asioita. Sijoittelun osalta on tärkeää, että anturin mittaama lämpötila edustaa saattopiirille tyypillistä tasoa, eli sen on oltava riittävän kaukana putken päästä tai putkikannakkeista. Auringonpaisteen ja kuumen prosessin säteilyn vaikutukset pitäisi myös ottaa huomioon. Ulkoilmatermostaatit tulisi sijoittaa paikkaan, joka edustaa hyvin saattoasennuksen olosuhteita. (SFS-EN 600079-30-2, 40.)

Anturit pitäisi sijoittaa putkeen niin, ettei eristettä voi joutua anturin ja putken väliin. On myös varottava vahingoittamasta kapillaariputkea, vastusanturien johtimia tai itse anturia. Kapillaariputket sekä vastusanturien johtimet tuodaan eristyksen läpi yleensä putken alapuolelta, ettei kosteutta pääsisi kulkeutumaan eristyksen sisään. (SFS-EN 600079-30-2, 40.)

Lämpöanturina ELSET-ohjatuissa saatoissa käytetään joko yhden tai kahden metrin pituista metallisauvaa, joka käännetään siten, että sen kytkentärasian puoleinen pää tulee ulos eristeestä (kts. kuva 5.6). Tällä menettelytavalla pyritään välttämään kytkentäjohtojen vaurioitumista. Anturi on Pt-100-tyyppinen ja se kytketään kolmijohdinkytkenä. Anturin maksimikäyttölämpötila on +550 °C ja sen metallisen suojaputken sisällä eristeaineena käytetään magnesium- ja alumiinioksidia. (SKS Group Oy 26.4.2013.)





Kuva 5.9. Kaapelin lämpötilan rajoitusanturin asennus. (L&T Recoil Oy.)

5.4.3 Läpiviennit

Regenerointilaitoksella läpiviennit pyritään ensisijaisesti tekemään putken alapuolelle, jotta veden valuminen läpiviennin kautta eristeeseen estyy. Kaapelit on hyvä suojata läpivienneissä suojaletkulla kaapelivaurioiden ehkäisemiseksi. (Tammisto 9.4.2013.)

5.4.4 Asennuslevyn standardimalli

Asennuslevyjä on kahta eri leveyttä. Leveämpään malliin mahtuu kaapelirasian lisäksi lämpötilan säätö- ja rajoitusantureiden rasia. Levyn kumpaakin puolta voidaan käyttää rasioiden kiinnittämiseen. Lisää havainnollistavia kuvia asennuksista on työn liitteissä. Asennuksia varten piirrettiin myös muutama asennustyyppikuva, jotka löytyvät liitteestä 2. (Tammisto 9.4.2013.)



Kuva 5.10. Säätolähtöjen asennuksia. (L&T Recoil Oy.)

5.5 Kehityskohteet

Saattotaulukot eivät ole aivan ajan tasalla. Niiden päivittäminen tulisikin tehdä ja jatkossa tehdä dokumentteihin päivitykset, kun muutoksia tulee revisioiden ja muun kunnossapidon yhteydessä.

Kulujen karsimiseksi kannattaa huolehtia eristämisen kunnollisuudesta ja selvittää onko valittu energiatehokkaimmat säätötavat ja kaapelityypit kohteisiin. Voitaisiin esimerkiksi harkita, kannattaako rikkoutumisten yhteydessä päivittää toisenlaisiin menetelmiin. Tähän asiaan voitaisiin tehdä suunnitelma ja kartoitus, jos se koetaan tarpeelliseksi.

Usein saattopiirien vikojen havaitseminen tapahtuu operaattorien muun työn ohessa, joten ainakin prosessin toimivuuden kannalta tärkeiden sähkösaatettujen putkilinjojen koestamista pitäisi tehdä useammin. Kunnossapitoa tekevien henkilöiden koulutustarvetta esimerkiksi kaapelien asianmukaisesta käsittelystä ja lämpöeristeiden purkamisesta voitaisiin miettiä ja järjestää tarpeen mukaan.

Erilaisten ohjeistusten laatiminen tietyille töille, joita tehdessä lämmityskaapelit ovat vaarassa vaurioitua, saattaisi helpottaa ulkopuolisten urakoitsijoiden perehdyttämistä. Ohjeistusten laatiminen myös muihin kuin saattolämmitykseen liittyviin kohteisiin olisi hyvää jatkoa tälle työlle ja ne voisivat olla esimerkiksi aiheena uudelle opinnäytetyölle. Työssä jo laadittujen asennustyyppikuvien lisäksi voitaisiin tehdä muitakin, joita ei tähän työhön aikataulun puitteissa toteutettu.

6 YHTEENVETO

Sähkösaattojen toteuttamisessa räjähdysvaarallisiin tiloihin tulee muistaa ottaa huomioon kohteessa vallitsevat olosuhteet ja valita laitteet siten, että ne on hyväksytty niissä käytettäväksi. Lisäksi tulee selvittää kaapelille sallittu maksimipintalämpötila syttymisryhmien perusteella. Tämän mukaan valitaan rajoitustermostaateille ja säätimille asetusarvot tai valitaan sellainen kaapeli, jonka lämpötila ei ylitä maksimia. Kaapeli-valmistajilta saatavissa olevia suunnitteluohjeita ja muita oppaita sekä apuohjelmia kannattaa hyödyntää.

Sopivan säätömenetelmän valitsemisessa tulee muistaa ottaa huomioon räjähdysvaarallisten tilojen vaatimusten ohella myös lämmityspiiriltä vaadittu tarkkuus. Eli pide-täänkö pumpattavan aineen lämpötilaa yllä kapealla vaihteluvälillä vai riittääkö läm-pötilan pitäminen tietyn rajan yläpuolella.

Kaapelityypin valintaan vaikuttaa yllä mainittujen asioiden lisäksi lämmitettävän put-kiosuuden pituus ja tarvittava lämmitysteho. Mietitään tähän kokonaisuuteen parhai-ten soveltuva kaapeli ja valitaan sopivat komponentit, jotka toteuttavat myös sähkö-turvallisuusvaatimukset.

Järjestelmän ylläpidon kannalta dokumentointi ja vakiintuneet hyväksi havaitut toi-mintatavat ovat tärkeässä roolissa. Jos sähkösaattojärjestelmään tehdyt muutokset ja siihen liittyvä hiljainen tieto ovat hyvin vain yhden tai kahden henkilön tiedossa, aihe-uttaa se ongelmia esimerkiksi sairastapauksissa. Pitäisikin kiinnittää huomiota doku-mentoinnin pitämiseen ajan tasalla. Toivottavasti myös tästä työstä on hyötyä ja sitä voidaan kehittää edelleen kokoamaan tietoa järjestelmästä helposti saatavaan ja hyö-dynnettävään muotoon.

Työn aihe oli melko haastava, sillä itselläni ei ollut sähkösaatoista ja niiden toteutta-misesta juurikaan aiempaa kokemusta. Työn edetessä alkoi kokonaisuus kuitenkin hahmottua ja sain hyvän käsityksen sähkösaattojen toteuttamiseen liittyvistä suunnitte-lunäkökohdista sekä käytännön asennuksista. Toivottavasti pääsen hyödyntämään työstä opittuja asioita myöhemmin työelämässä.

LÄHTEET

Are. Verkkosivut. <<http://www.are.fi/FI/palvelut/teollisuus-ja-logistiikka/saattolammitys/Sivut/etusivu.aspx>>. [viitattu 14.4.2013]

Assembly and repair guide. Pentair Thermal Management. PDF-verkkodokumentti. <http://fi-fi.thermal.pentair.com/Images/ML-PyrotenaxMI-DS-DOC571_tcm488-31137.pdf>. [viitattu 9.3.2013]

Ecostream Group. Verkkosivut. <<http://www.ecostream.fi/>>. [viitattu 1.2.2013]

Elfoil. Itserajoittuvat kaapelit. PDF-verkkodokumentti. <http://elfoil.fi/webfm_send/20>. [viitattu 17.2.2013]

Elfoil. Saattolämmitys. Verkkosivut. <<http://www.elfoil.fi/saatto1%C3%A4mmitys>>. [viitattu 12.2.2013]

Elfoil. Sarjavastuskaapelit. PDF-verkkodokumentti. <http://www.elfoil.fi/webfm_send/19>. [viitattu 12.2.2013]

Gupta, D.C., Rafferty, N. Proven tools and techniques for electric heat tracing. Artikkel. Chemical Engineering, May 1995, s. 104-107.

Heatchem Oy. Verkkosivut. <<http://www.heatchem.com/index.php?id=1>>. [viitattu 17.2.2013]

Installation, maintenance and operation manual. Pentair Thermal Management. PDF-verkkodokumentti. <http://fi-fi.thermal.pentair.com/Images/EN-PyrotenaxMI-IM-DOC586_tcm488-27335.pdf>. [viitattu 30.3.2013]

Kauppila, J., Tiainen, E., Ylinen, T. 2009. Sähköasennukset 3. Sähköinfo Oy. Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry.

L&T Recoil Oy. 16.2.2007. Ympäristövaikutusten arviointiselostus. Saatavissa. <<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=233950&lan=fi>>. [viitattu 18.4.2013]

L&T Recoil Oy. 2013. Laitoksen esittelymateriaali. PowerPoint-esitys. Ei saatavissa.

Partanen, A. Putkisto- ja laite-eristykset: tehokkuus-, tuottavuus- ja turvallisuustekijä. Artikkel. Promaint 1/2009, s. 46-48.

Prosessilämpötilan ylläpito. Pentair Thermal Management. Verkkosivut. <<http://fi-fi.thermal.pentair.com/application/for-industrial-facilities/process-temperature-maintenance/>>. [viitattu 11.2.2013]

Pihkala, J. 2004. Prosessisuureiden mittaustekniikka. 2. uudistettu painos. Opetushallitus.

PSK 8101. Saattolämmitykset. Sähkösaattojen hankinta. 14.8.2003. PSK Standardisointiyhdistys ry.

Raychem Oy. 1992. Chemelex -suunnitteluohje, s. 4-5. Vastaava putken lämpöhäviötaulukko saatavissa: <<http://www.electrictraceheating.co.uk/chart.html>>. Tyco Raychem Trace Heat Loss Chart. [viitattu 25.4.2013]

Saastamoinen, A. 2009. Sähköasennukset 2. Sähköinfo Oy. Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry.

SFS-EN 60079-14. Räjähdyksivaaralliset tilat. Osa 14: sähköasennusten suunnittelu, laitevalinta ja asentaminen. Suomen Standardisointiliitto SFS ry. 25.5.2009.

SFS-EN 60079-30-1, Räjähdyksivaaralliset tilat, Osa 30-1: sähkösaatot, Yleiset ja testausvaatimukset. Suomen Standardisointiliitto SFS ry. 23.6.2008.

SFS-EN 60079-30-2, Räjähdyksivaaralliset tilat, Osa 30-2: sähkösaatot, Soveltamisohjeita suunnitteluun, asentamiseen ja kunnossapitoon. Suomen Standardisointiliitto SFS ry. 23.6.2008.

SKS Automaatio. Räjähdyssuojausmerkinnät. PDF-verkkodokumentti. <[http://www.sks.fi/download/sks_rajahdyssuojausmerkinnat/\\$file/SKS_rajahdyssuojausmerkinnat_juliste.pdf](http://www.sks.fi/download/sks_rajahdyssuojausmerkinnat/$file/SKS_rajahdyssuojausmerkinnat_juliste.pdf)>. [viitattu 4.4.2013]

SKS Group Oy. Lämpötila-anturin rakennekuva.

<[http://www.sks.fi/download/sks_atex-anturit_ex_e/\\$file/1125387_rev1.pdf](http://www.sks.fi/download/sks_atex-anturit_ex_e/$file/1125387_rev1.pdf)>. [viitattu 26.4.2013]

Tammisto, K. Sähköpostikeskustelut ja suulliset tiedonannot regenerointilaitoksella. Kevät 2013.

TraceCalc Pro -ohjelma. Pentair Thermal Management. TraceCalc Pro -ohjelma saatavissa osoitteesta: <<http://fi-fi.thermal.pentair.com/design-tools/downloadable-tools/trace-calc-pro/>>. [viitattu 30.3.2013.]

Tukes. ATEX räjähdysvaarallisten tilojen turvallisuus -opas. PDF-verkkodokumentti. <http://www.tukes.fi/Tiedostot/vaaralliset_aineet/esitteet_ja_opaat/ATEX_opas.pdf>. [viitattu 16.2.2012]

Vakiometritrehoinen lämpökaapeli. Pentair Thermal Management. Verkkosivut. <<http://fi-fi.thermal.pentair.com/products/heating-cables/constant-wattage-parallel-circuit/>>. [viitattu 18.2.2012]

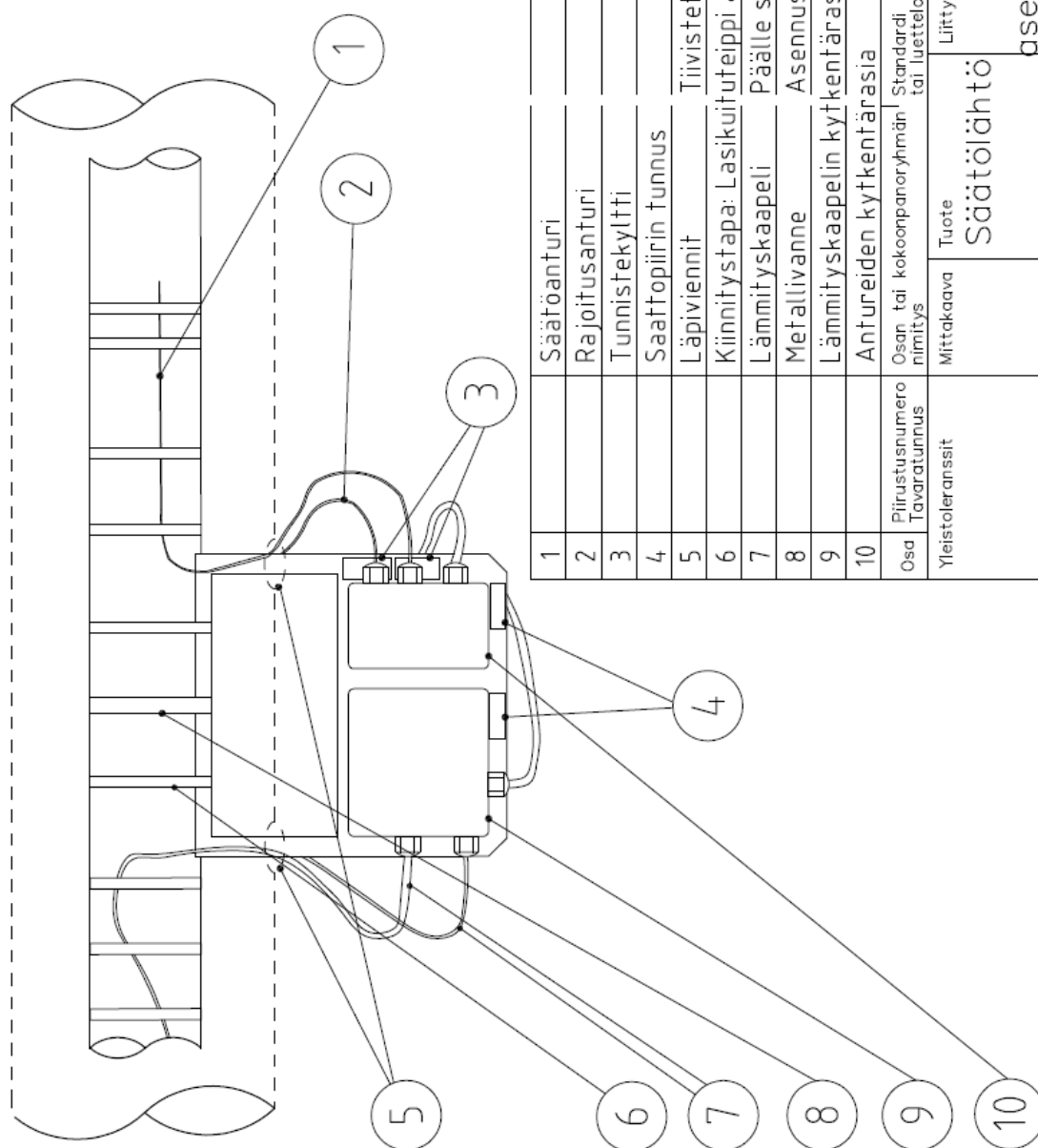
Välilä, J. ATEX-tilat haaste kunnonvalvonnalle. Artikkel. Promaint 7/2010, s. 34-35.




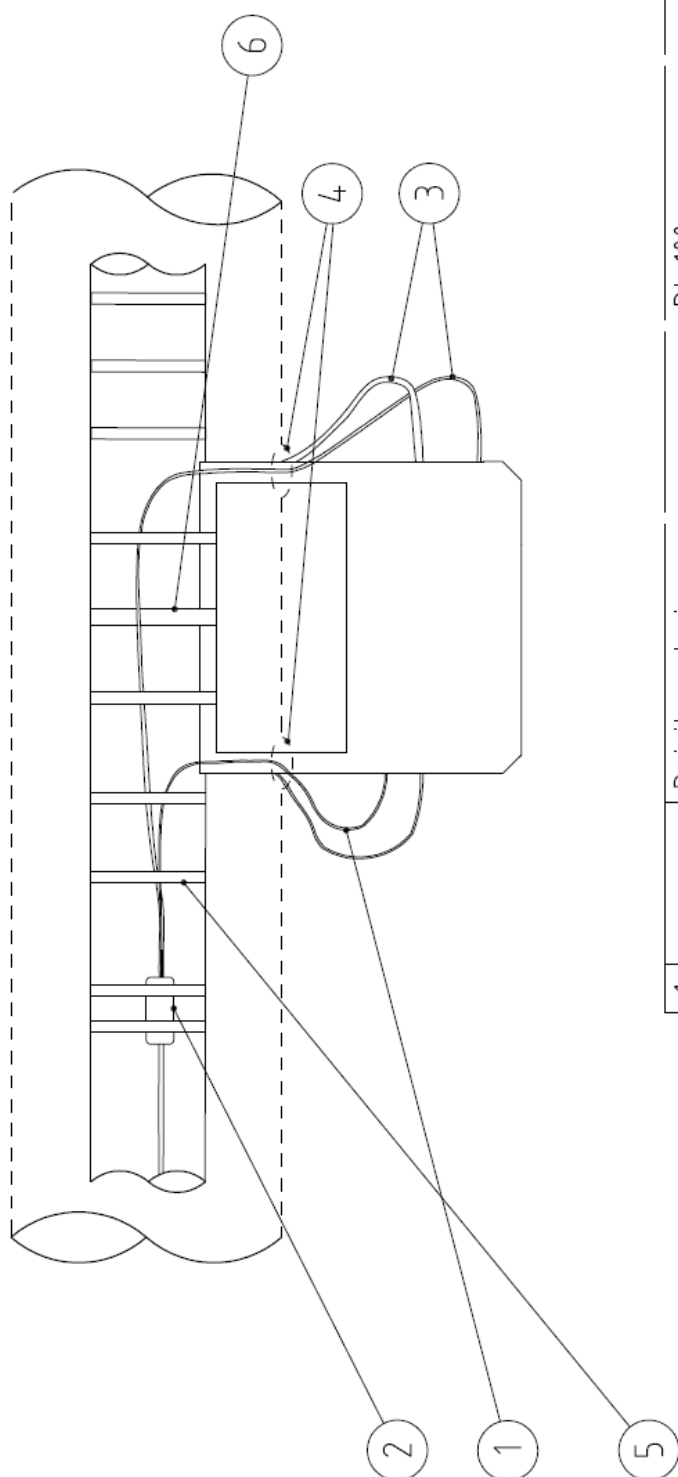





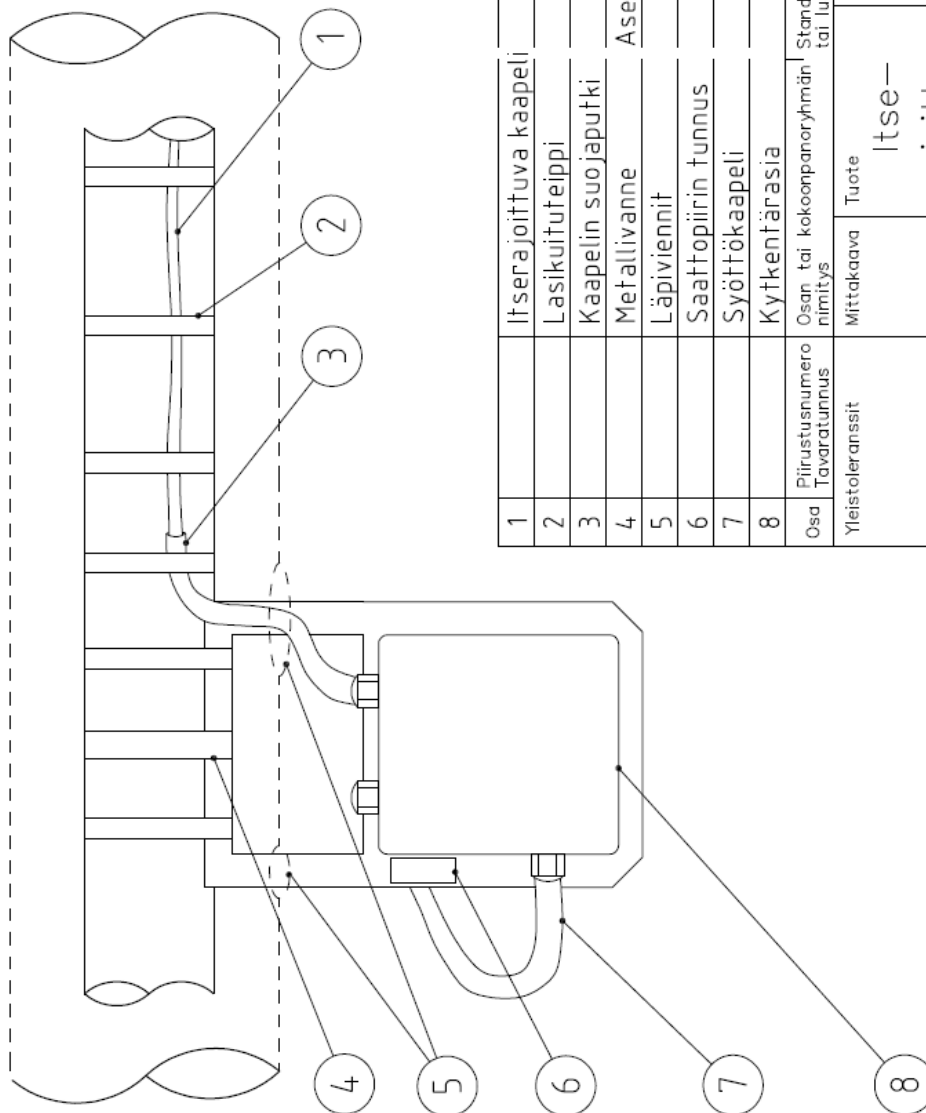





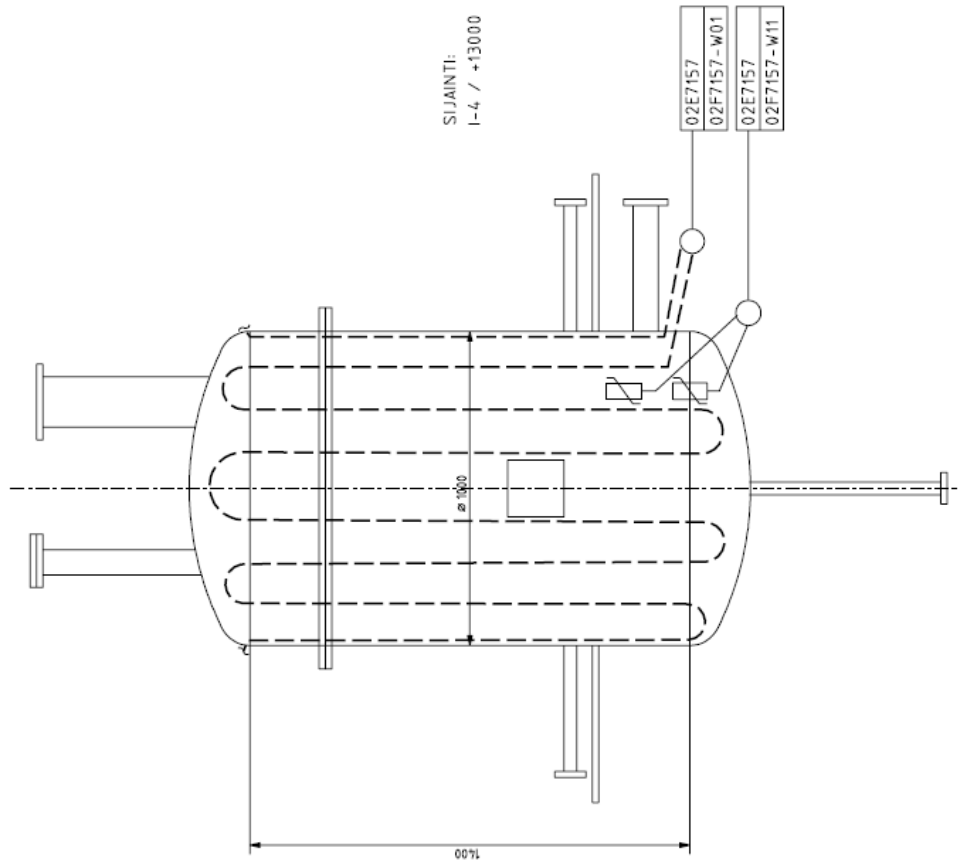
1	Säätöanturi		Pt-100		1
2	Rajoitusanturi		Pt-100		1
3	Tunnistekyltti		TC-säätö, TL-rajoitus		2
4	Saattopiirin tunnus		esim. 02E7113		2
5	Läpiviennit		Tiivistetään		2
6	Kiinnitystapa: Lasikuifutiteippi	alle 200 °C	Metalliverkko yli 200 °C		
7	Lämmityskaapeli	Päälle suojaputki			1
8	Metallivanne	Asennuslevyn kiinnitys			1
9	Lämmityskaapelin kytkentärasia				1
10	Antureiden kytkentärasia				1
Osa	Piirustusnumero Tavaratunnus	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys	Standardi tai luettelo	Muoto, malli,määrä	Laatu
Yleistoleranssit		Mittakaava	Tuote	Liittyy	
			Säätölähtö	Leveä	
			asennuslevy		
Piirt.	T.N.		L&T Recoil Oy		
Suunn.					
Tark.		Massa			
tyy.		kg			
				Ent.	Uusi
					1-1



1		Rajoitusanturi		Pt-100	1
2		Anturin ja kaapelin kiinnitys		Tyyny & lasikuituteippi	
3		Lämmityskaapeli		Päälle suojaputki	1
4		Läpiviennit		Tiivistetään	2
5		Kiinnitystapa: Lasikuituteippi	alle 200 °C	Metalliverkko yli 200 °C	
6		Metallivanne	Asennuslevyn kiinnitys		1
Osa	Piirustusnumero Tavaratunnus	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys	Standardi tai luettelo	Muoto, malli,määrä	Laatu
Yleistoleranssit		Mittakaava	Tuote	Liittyy	
			Säätölähtö	Leveä	Rajoitusanturi
				asennuslevy	
Piirt.	T.N.			Ent.	Uusi
Suunn.		L&T Recoil Oy		1-2	
Tark.					
Yv.		Massa	kg		

[illegible]

 L&T RECOIL Used Lube Oil Refineries	Polythene 1500 Microns 02-0066-AF-80-E40C1B 02-0066-AF-15-E40C1B		120 mm	Project / Project RUFUS	Performance RUFUS	Drawing Number ELT02-AF0066
	Polythene 1500 Microns 02-0066-AF-80-E40C1B 02-0066-AF-15-E40C1B		120 mm	Project / Project RUFUS	Performance RUFUS	Drawing Number ELT02-AF0066



SIJAINITI:
1-4 / +13000

02E7157

[illegible]

[illegible]

[illegible]

A		B		C		D		E		F		G		H		I		J		K		L		M		N		O		P		Q		R		S		T		U		V		W		X		Y		Z		AA		AB		AC		AD		AE		AF		AG		AH		AI		AJ		AK		AL		AM		AN		AO		AP		AQ		AR		AS																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		16		17		18		19		20		21		22		23		24		25		26		27		28		29		30		31		32		33		34		35		36		37		38		39		40		41		42		43		44		45		46		47		48		49		50		51		52		53		54		55		56		57		58		59		60		61		62		63		64		65		66		67		68		69		70		71		72		73		74		75		76		77		78		79		80		81		82		83		84		85		86		87		88		89		90		91		92		93		94		95		96		97		98		99		100		101		102		103		104		105		106		107		108		109		110		111		112		113		114		115		116		117		118		119		120		121		122		123		124		125		126		127		128		129		130		131		132		133		134		135		136		137		138		139		140		141		142		143		144		145		146		147		148		149		150		151		152		153		154		155		156		157		158		159		160		161		162		163		164		165		166		167		168		169		170		171		172		173		174		175		176		177		178		179		180		181		182		183		184		185		186		187		188		189		190		191		192		193		194		195		196		197		198		199		200		201		202		203		204		205		206		207		208		209		210		211		212		213		214		215		216		217		218		219		220		221		222		223		224		225		226		227		228		229		230		231		232		233		234		235		236		237		238		239		240		241		242		243		244		245		246		247		248		249		250		251		252		253		254		255		256		257		258		259		260		261		262		263		264		265		266		267		268		269		270		271		272		273		274		275		276		277		278		279		280		281		282		283		284		285		286		287		288		289		290		291		292		293		294		295		296		297		298		299		300		301		302		303		304		305		306		307		308		309		310		311		312		313		314		315		316		317		318		319		320		321		322		323		324		325		326		327		328		329		330		331		332		333		334		335		336		337		338		339		340		341		342		343		344		34	



HDF/HDC



Mineral insulated copper sheathed heating cable

Pyrotenax HDC/HDF mineral insulated (MI) Cupro-Nickel series heating cables are suited for use in hazardous areas. They are extensively used for a wide variety of industries, such as oil and gas, chemical and petrochemical, power generation, gas storage and many other industrial applications. Cupro-Nickel heating cables with

copper conductors (HDC) are available in very low resistances to allow for long line applications with a limited amount of supply points, in particular for applications exceeding the capabilities of Polymer Insulated (PI) series heating cables. The heating cables can be used for exposure temperatures up to 400°C and a typical

power output up to 70 W/m. The heating cables are offered as bulk cable as well as factory-terminated heating units to ensure optimum quality of the connections. The offering is completed with a full range of components for installation, connection and splicing of the heating cables.

Heating cable construction



Application

Area classification	Hazardous areas, Zone 1 or Zone 2 (Gas) and Zone 21 or Zone 22 (Dust) Ordinary areas
---------------------	---

Approvals

System (heating units)	Baseefa02ATEX0046X Ⓔ II 2GD Ex e II T6 to T1 Ex tD A21 IP6X Actual T class temperature determined by design
------------------------	---

Bulk cable	Baseefa02ATEX0045U Ⓔ II 2G Ex e II
------------	---------------------------------------

Heating units are also approved for Dust environments. Temperature classification (T-rating) has to be established by using the principles of stabilised design or the use of a temperature limiting device. Use TraceCalc design software or contact Tyco Thermal Controls.

This product also has all required approvals for use in Kazakhstan, Russia and other countries. Contact your local Tyco Thermal Controls representative for more details.

Technical Data

Cable sheath material	70/30 Cupro-Nickel	
Conductor material	Copper (HDC) or Copper Alloy (HDF)	
Max. exposure temperature	400°C	
Min. installation temperature	-60°C	
Min. bending radius	6 x outer diameter at -60°C	
Max. supply voltage and power	Voltage (U ₀ /U)	Max. power output*
	300/500 Vac	70 W/m
*typical value, depending on application		
Earth leakage	3 mA/100 m (nominal at 20°C, 230Vac, 50 - 60Hz)	
Min. cable spacing	25 mm for hazardous areas	

HDF/HDC



MI series heating cables HDF/HDC					
Order Reference	Nominal resistance (Ω/km @ 20°C)	Outer diameter (mm)	Temp. coefficient (x 10 ⁻³ /K)	Max. coil length [m]	Nom. weight (kg/km)
HDF1M1600	1600	3.2	0.04	625	40
HDF1M1000	1000	3.4	0.04	550	45
HDF1M630	630	3.7	0.04	465	55
HDF1M400	400	4.0	0.04	400	67
HDF1M250	250	4.4	0.04	330	84
HDF1M160	160	4.9	0.04	265	108
HDC1M63	63	3.2	3.9	620	39
HDC1M40	40	3.4	3.9	550	44
HDC1M25	25	3.7	3.9	440	55
HDC1M17	17	4.6	3.9	300	84
HDC1M11	11	4.9	3.9	265	98
HDC1M7	7	5.3	3.9	225	119
HDC1M4	4	5.9	3.9	180	155

Resistance tolerance: $\pm 10\%$

Recommended cold leads for HDF/HDC MI series heating cables				
Nom. cross section [mm ²]	Order reference	Max. current (design B)	Outer diameter (mm)	Standard gland size
2.5	DC1H2.5	34	5.3	M20
6	DC1H6	57	6.4	M20
10	DC1H10	77	7.3	M25
16	DC1H16	102	8.3	M25

Brass glands are standard on all heating units. Other materials are possible, contact Tyco Thermal Controls for more information.

Delivery length of bulk cable on coil depends on type of resistance and is limited by max. coil length as indicated in the table on top. Factory terminated elements are limited by a max. weight of 50kg, however to ensure practical and safe on-site handling, it is strongly recommended to limit element lengths to 25 - 30kg. Not all resistances are standard items and as such may not be in stock. Contact Tyco Thermal controls to confirm lead time. Tyco Thermal Controls requires the use of a 30 mA residual current device to provide maximum safety and protection from fire.

Where design results in higher leakage current, the preferred trip level for adjustable devices is 30 mA above any inherent capacitive leakage characteristic of the heater as specified by the trace heater supplier or alternatively, the next common available trip level for non adjustable devices, with a maximum of 300 mA. All safety aspects need to be proven.

Also refer to the components section for more details on heating units, accessories and nomenclatures. Page 118.

Chemical resistance											
Sheath Material	Maximum Cable Sheath Temp (°C)	Description	Sulphuric Acid	Hydrochloric Acid	Hydrofluoric Acid	Phosphoric Acid	Nitric Acid	Organic Acid	Alkalies	Sea Water	Chloride
Cupro-Nickel	400	Cupro-Nickel alloy 70% copper 30% nickel	NR	X	X	X	X	X	X	GE	GE

Note: NR Not recommended, A acceptable, GE Good to excellent, X Check for specific data

Corrosion resistance data is dependent on temperature and concentration.



Electrical heating tape for process temperature maintenance of pipework and vessels in safe or hazardous locations

POWERHEAT

**Constant Wattage
Heating Tape**

- Withstand temperatures up to 425°C
- Outputs available to 150W/m
- Can be cut to length with no wastage
- Approved for use in non-hazardous, hazardous and corrosive environments
- Full range of controls and accessories
- Available for 110-120VAC and 220-277VAC

FEATURES

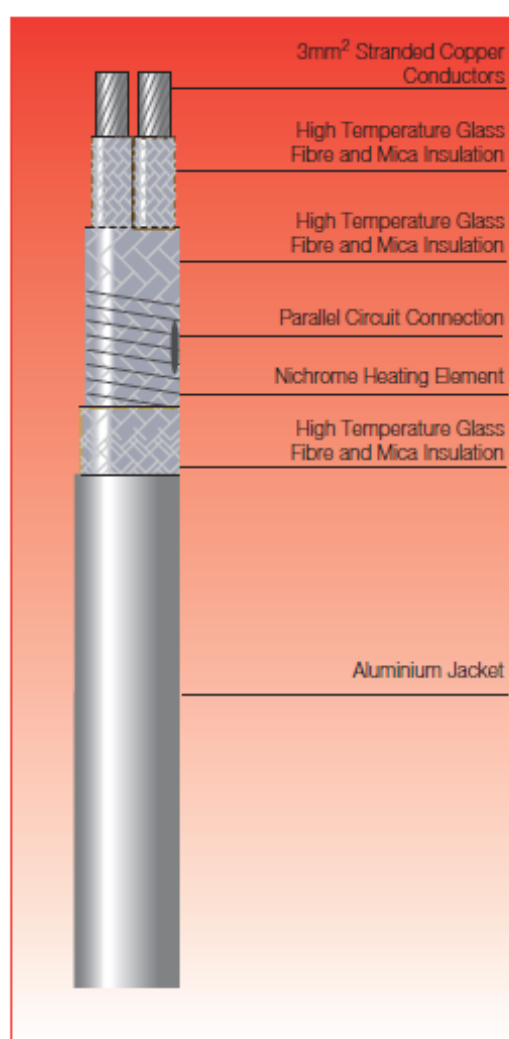
POWERHEAT Type AHT is a constant wattage heating tape that can be used for freeze protection or maintenance of process temperatures in pipework and vessels.

It can be cut-to-length at site and can replace mineral insulated (MI) cables for applications where the cut-to-length feature, or field fabricated heating cable is preferred.

AHT is approved for use in non-hazardous, and hazardous areas to world wide standards.

The installation of AHT heating tape is quick and simple and requires few special skills or tools. Termination and power connection components are all provided in convenient kits.

AHT is jacketted in a continuous aluminum extrusion for maximum mechanical strength, even after severe process upsets.



SPECIFICATION

MAXIMUM EXPOSURE TEMPERATURE	Continuous	340°C (644°F)
	Intermittent	425°C (797°F)

MINIMUM INSTALLATION TEMPERATURE	-40°C (-40°F) (CENELEC -20°C, -4°F)
---	--








TEMPERATURE CLASSIFICATION	350°C (T1)	Devices are classified according to rated output and the conditions of use, ie. limited pipe temp
	T2 (300°C)	
	T3 (200°C)	
	T4 (135°C)	
	T5 (100°C)	
	or T6 (85°C)	

POWER SUPPLY	220 - 277 VAC or 110 - 120 VAC
---------------------	-----------------------------------

WEIGHTS & DIMENSIONS

Type Ref	Nom. Dims. (mm)	Weight kg/100m	Min. Bending radius (mm)	Gland Size
AHT	10 x 7	16.5	25	M20

APPROVAL DETAILS

Testing Authority	Certificate No.	Standard
CENELEC 	SCS Ex 99E3146	EN50014 & EN50019
ATEX 	Sira 02ATEX3079	EN50014, EN50019 & IEC62086
IEC 	Sira 02Y3069	CEI IEC62086 & IEC60079-7
FM 	3009080	IEEE Std 515
CSA 	214197-1295278	C22.2 No. 130.1 C22.2 No. 130.2 C22.2 No. 138
Lloyds Register 	02/00062	EN50014, EN50019, BS6351, IEEE Std 515
GOST R 	POCC GB.7505.802366	GOST R 51330.0-99 (M3K 60079-0-98) GOST R 51330.8-99

Further approvals are available on request.

CONSTRUCTION

Heating Element	Nickel Chromium
Power Conductors	Nickel Plated Copper 3mm ²
Conductor Insulation	Glass/Mica
Primary Insulation	Glass/Mica
Jacket	Aluminium

ORDERING INFORMATION

Example	50AHT2
Nominal Output 50W/m	
Powerheat type AHT	
Supply Voltage 220 - 277VAC	

HEAT TRACE™
SETTING THE STANDARDS LEADING THE WAY

Mere's Edge, Chester Road, Helsby, Frodsham, Cheshire, WA6 0DJ, England, UK
Tel: +44(0)1928 726 451 Fax: +44(0)1928 727 846 <http://www.heat-trace.com>

The information given herein, including drawings, illustrations and schematics (which are intended for illustration purposes only), is believed to be reliable. However, Heat Trace Ltd makes no warranties as to its accuracy or completeness and disclaims any liability in connection with its use. Users of Heat Trace Ltd products should make their own evaluation to determine the suitability of each such product for specific applications. In no way will Heat Trace Ltd be liable for any damages arising out of the misuse, resale or use of the product.

MAXIMUM PIPE / WORKPIECE TEMPERATURES

The surface of the heater must not exceed the maximum withstand temperature of its constructional materials or the Temperature Classification (if installed in a hazardous area). This is ensured by limiting the pipe or workpiece temperature to a safe level either by design calculation (a Stabilised Design) or by means of temperature controls.

For worst case conditions, the temperature of steel pipes should be limited to the following levels:-

MAXIMUM PIPE / WORKPIECE TEMPERATURES (°C)

Area Classification	Hazardous ¹						Safe ²
	T6	T5	T4	T3	T2	T1	
Catalogue Ref.							
15AHT	-	36	71	160	289	350	350
30AHT	-	11	28	100	246	323	323
50AHT	-	-	-	39	178	276	276
70AHT	-	-	-	-	48	140	140
100AHT	-	-	-	-	48	140	140
150AHT	-	-	-	-	-	36	36

Pipe temperatures higher than those given above may be accommodated by using Heat Trace Ltd voltage compensating devices eg. POWERMATCH™ - call for further details.

Tolerances: 115V/230V +10%; Resistance +10%; -0%

The above data is for 230V heaters. For 277V heaters, contact your local Heat Trace Representative.

Notes

- 1 Surface temperature limits in accordance with EN50014.
- 2 Surface temperature limited by materials of construction (withstand temperature)

MAXIMUM CIRCUIT LENGTH*

Catalogue Ref.	115V	230V/277V
15AHT	59m	118m
30AHT	42m	83m
50AHT	32m	64m
70AHT	26m	54m
100AHT	23m	46m
150AHT	19m	37m

*For 10% volt drop variation

POWER CONVERSION FACTORS

115V HEATING TAPE	230V HEATING TAPE
125V Multiply output by 1.18	277V Multiply output by 1.45
120V Multiply output by 1.09	240V Multiply output by 1.09
110V Multiply output by 0.91	220V Multiply output by 0.91
100V Multiply output by 0.76	208V Multiply output by 0.82

ACCESSORIES

Heat Trace supply a complete range of accessories including termination/splice kits, end seals, junction boxes and controls. Such items carry separate approvals from the heating tapes. When used in hazardous areas, only use approved components.



Electrical heating tape for frost protection or temperature maintenance of instrument lines and pipework in safe or hazardous locations

FREEZSTOP LITE

Self-Regulating Heating Tape

- Automatically adjusts heat output in response to increasing or decreasing pipe temperature
- Can be cut to length with no wastage
- Will not overheat or burnout, even when overlapped
- Approved for use in non-hazardous, hazardous and corrosive environments
- Full range of controls and accessories
- Available for 110-120VAC and 220-277 VAC

FEATURES

FREEZSTOP LITE is a light industrial/commercial grade self-regulating heating tape that can be used for freeze protection or temperature maintenance of pipework and vessels in the construction and refrigeration industries.

It can be cut-to-length at site and exact piping lengths can be matched without any complicated design considerations.

FREEZSTOP LITE is approved for use in non-hazardous, hazardous and corrosive environments to world wide standards.

Its self-regulating characteristics improve safety and reliability. FREEZSTOP LITE will not overheat or burnout, even when overlapped upon itself. Its power output is self-regulated in response to the pipe temperature.

The installation of FREEZSTOP LITE is quick and simple and requires no special skills or tools. Termination, splicing and power connection components are all provided in convenient kits.

OPTIONS

- FSLe .. C Tinned copper braid providing mechanical protection or where traced equipment does not provide an effective earth path. eg. plastic pipework.
- FSLe .. CT Thermoplastic overjacket over tinned copper braid provides additional protection.
- FSLe .. CF Fluoropolymer overjacket over tinned copper braid provides protection where corrosive chemical solutions or vapours may be present.



HEAT TRACE™
SETTING THE STANDARDS LEADING THE WAY



SPECIFICATION

MAXIMUM TEMPERATURE 85°C (185°F)

MAX. PERMISSIBLE TEMPERATURE de-energised 85°C (185°F)

MINIMUM INSTALLATION TEMPERATURE -40°C (-40°F)
(CENELEC -20°C, -4°F)

POWER SUPPLY 110 – 120VAC, 220 – 277VAC








TEMPERATURE CLASSIFICATION up to 23W/m T6 (85°C)
31W/m and/or 277V T4 (135°C)

MAXIMUM RESISTANCE OF PROTECTIVE BRAIDING 18.2 Ohm/km

WEIGHTS AND DIMENSIONS

Type Ref	Nominal Dimensions (mm)	Weight kg/100m	Min. Bending radius	Gland Size
FSLe	8.5 x 3.9	4.6	25mm	M20
FSLe ... C	9.3 x 4.7	9.2	30mm	M20
FSLe ... CT	10.5 x 5.9	10.2	35mm	M20
FSLe ... CF	10.5 x 5.9	9.9	35mm	M20

APPROVAL DETAILS

Testing Authority	Certificate No.	Standard
CENELEC 	SCS Ex 99E3146	EN60079-0/EN60079-7
ATEX 	Sira 02ATEX3074	EN60079-0/EN60079-7 IEC62086
IEC 	Sira 02Y3064	CEI IEC62086 & IEC60079-7
FM 	3009080	ANSI/IEEE Std 515
VDE 	114665	DIN VDE 0254
CSA 	214197-1295278	C22.2 No. 130.1 C22.2 No. 130.2 C22.2 No. 138
Lloyds Register 	02/00062	EN60079-0/EN60079-7 IEEE Std 515

Further approvals are available on request.

ORDERING INFORMATION

Example	12FSLe2-CT
Output 12W/m at 5°C	
FREEZSTOP LITE	
Supply Voltage 220 – 277VAC	
Tinned Copper Braid	
Thermoplastic Outerjacket	

ACCESSORIES

Heat Trace supply a complete range of accessories including termination/splice kits, and seals, junction boxes and controls. These items are recommended for the correct operation of FSLe products.

MAXIMUM LENGTH (m) vs. CIRCUIT BREAKER SIZE

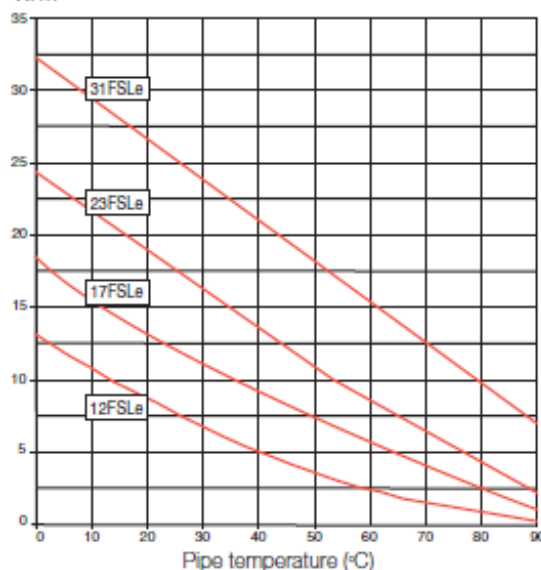
Cat Ref	Start-up Temperature	230V 6A	10A	16A	20A
12FSLe	5°C	78	132	180	-
	0°C	74	124	180	-
	-20°C	56	94	150	180
	-40°C	46	76	124	154
17FSLe	5°C	62	104	146	-
	0°C	60	100	146	-
	-20°C	48	82	130	146
	-40°C	42	70	112	138
23FSLe	5°C	46	76	124	-
	0°C	42	70	114	124
	-20°C	34	56	88	110
	-40°C	28	46	72	90
31FSLe	5°C	34	58	92	102
	0°C	32	52	84	102
	-20°C	24	40	56	66
	-40°C	20	34	54	66

For use with Type C circuit breakers to BS EN60898

THERMAL RATINGS

Nominal output at 115V or 230V when FSLe is installed on insulated metal pipes.

W/m



FURTHER INFORMATION

Please consult the appropriate termination instructions and the Heat Trace Installation, Testing and Maintenance Manual (IMEHT010) for further details. For VDE compliant heaters, please consult the installation principles for flexible electric heat tracing (TDS9078/001).

HEAT TRACE™
SETTING THE STANDARDS LEADING THE WAY

Mere's Edge, Chester Road, Helsby, Frodsham, Cheshire, WA6 0DU, UK
Tel: +44 (0)1928 726 451 Fax: +44 (0)1928 727 846 <http://www.heat-trace.com>

The information given herein, including drawings, illustrations and schematics (which are intended for illustration purposes only), is believed to be reliable. However, Heat Trace Ltd makes no warranties as to its accuracy or completeness and disclaims any liability in connection with its use. Users of Heat Trace Ltd products should make their own evaluation to determine the suitability of each such product for specific applications. In no way will Heat Trace Ltd be liable for any damages arising out of the misuse, resale or use of the product.



Electrical heating tape for process heating or temperature maintenance of pipework and vessels in safe or hazardous areas

FREEZSTOP SUPER

Self-Regulating Heating Tape

- Automatically adjusts heat output in response to increasing or decreasing pipe temperature
- Can be cut to length with no wastage
- Will not overheat or burnout, even when overlapped
- High power outputs up to 55W/m
- Full range of controls and accessories
- Available for 220/240VAC (110/120VAC on demand)
- Approvals to CENELEC standards for hazardous and corrosive environments

FEATURES

FREEZSTOP SUPER is an industrial grade, self-regulating heating tape to BS6351 Grade 22 that can be used for applications ranging from process heating or maintenance of temperatures up to 150°C.

It can be cut to length on site and exact piping lengths can be matched without any complicated design considerations.

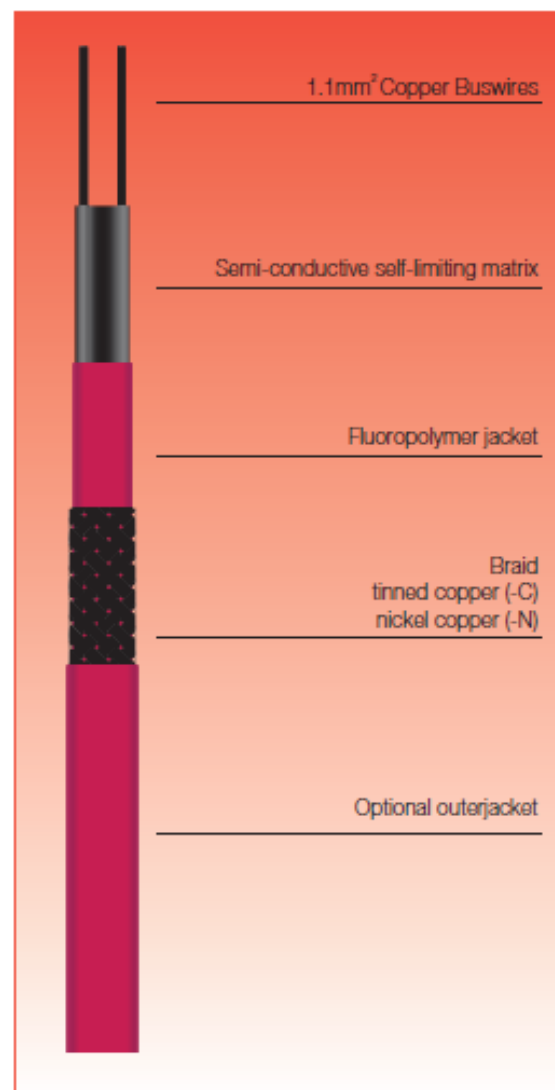
FREEZSTOP SUPER is suitable for use in safe (non-hazardous) or hazardous and corrosive environments in accordance with CENELEC EN50014/50019.

Its self-regulating characteristics improve safety and reliability. FREEZSTOP SUPER will not overheat or burnout, even when overlapped upon itself.

The installation of FREEZSTOP SUPER heating tape is quick and simple and requires no special skills or tools. Termination, splicing and power connection components are all provided in convenient kits.

OPTIONS

- | | |
|---------|--|
| FSS..x | Tinned copper (C), or nickel (N) braid for non-hazardous areas, hazardous areas or where traced equipment does not provide an effective earth path, eg. plastic pipework. Heaters must have additional protection from mechanical damage in service. |
| FSS..xF | Fluoropolymer outerjacket over tinned copper (C), or nickel (N) braid provides additional protection where corrosive chemical solutions or vapours may be present. |



SPECIFICATION

MAXIMUM TEMPERATURE	150°C (302°F)
MAXIMUM PERMISSIBLE de-energised	200°C (392°F)
MINIMUM INSTALLATION TEMPERATURE	-30°C (-22°F) CENELEC -20°C (-4°F)
TEMPERATURE CLASSIFICATION	Braided - T2 (300°C) Braid and Outerjacket - T3 (200°C)
POWER SUPPLY	220 - 277 VAC (110 - 120 VAC on demand)

MAXIMUM RESISTANCE OF PROTECTIVE BRAIDING	18.2 Ohm/km
--	-------------

WEIGHTS & DIMENSIONS

Type Ref	Nom. Dims. (mm)	Weight kg/100m	Min. Bending radius @ -20°C	Gland Size
FSS	10.4 x 3.4	7.6	20 mm	M20
FSS...x	11.4 x 4.4	11.7	25 mm	M20
FSS...xF	12.2 x 5.2	15.4	30 mm	M20

'x' denotes 'C' for tinned, or 'N' for nickel copper braid

APPROVAL DETAILS

Testing Authority	Certificate No.	Standard
CENELEC	SCS Ex 99E3175*	EN60079-0/EN60079-7
ATEX	Sira 02ATEX3072	EN60079-0/EN60079-7 & IEC62086
IEC	Sira 02Y3062	CEI IEC62086 & IEC60079-7
FM	3009080	ANSI/IEEE Std 515
CSA	214197-1295278	C22.2 No. 130.1 C22.2 No. 130.2 C22.2 No. 138
Lloyds Register	02/00062	EN60079-0/EN60079-7 IEEE Std 515

Further approvals, and approvals for braid only FSS are available on request. * Suffix 'x' for braid only heaters

ORDERING INFORMATION

Example	55FSS2-CF
Output 55W/m at 10°C	
Freezestop Super	
Supply Voltage 220 - 240V AC	
Tinned Copper Braid	
Fluoropolymer outer jacket	

ACCESSORIES

Heat Trace supply a complete range of accessories including termination/splice kits, end seals, junction boxes and controls. Such items carry separate approvals from the heating tapes. When used in hazardous areas, only use approved components.

MAXIMUM LENGTH (m) vs. CIRCUIT BREAKER SIZE

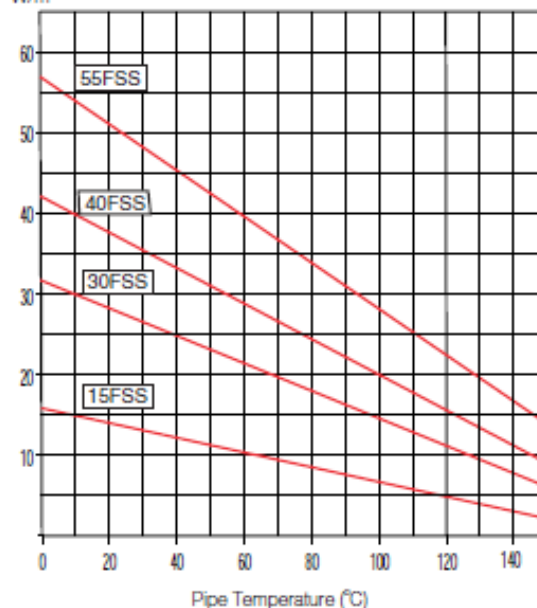
Cat Reference	Start-up Temperature	230V 6A	10A	16A	20A	25A
15FSS	10°C	68	112	162	-	-
	0°C	64	106	162	-	-
	-20°C	56	94	150	162	-
	-40°C	50	84	134	162	-
30FSS	10°C	34	58	92	114	-
	0°C	34	56	88	112	114
	-20°C	30	50	82	102	114
	-40°C	28	46	74	94	114
40FSS	10°C	26	42	66	84	98
	0°C	24	40	64	80	98
	-20°C	22	36	58	72	90
	-40°C	20	34	52	66	82
55FSS	10°C	20	32	52	64	80
	0°C	18	30	50	62	78
	-20°C	16	28	44	56	70
	-40°C	16	26	40	50	64

For use with Type C circuit breakers to BS EN60898:1991

THERMAL RATINGS

Nominal output at 230V when FSS is installed on insulated metal pipes.

W/m



FURTHER INFORMATION

Please consult the appropriate termination instructions and the Heat Trace Installation, Maintenance and Testing Manual (IMEHT010) for further details.

HEAT TRACE™
SETTING THE STANDARDS LEADING THE WAY

Mere's Edge, Chester Road, Helsby, Frodsham, Cheshire, WA6 0DJ, UK
Tel: +44 (0)1928 726 451 Fax: +44 (0)1928 727 846 <http://www.heat-trace.com>

The information given herein, including drawings, illustrations and schematics (which are intended for illustration purposes only), is believed to be reliable. However, Heat Trace Ltd makes no warranties as to its accuracy or completeness and disclaims any liability in connection with its use. Users of Heat Trace Ltd products should make their own evaluation to determine the suitability of each such product for specific applications. In no way will Heat Trace Ltd be liable for any damages arising out of the misuse, resale or use of the product.

HP05250 1/00P



Electrical heating tape for process heating or temperature maintenance of pipework and vessels where high temperature withstand is required

FREEZSTOP ULTIMO

Self-Regulating Heating Tape

Withstands 250°C*

- Automatically adjusts heat output in response to increasing or decreasing pipe temperature
- Can be cut to length with no wastage
- Will not overheat or burnout
- High power outputs up to 90W/m
- Full range of controls and accessories
- Available for 220/240VAC (110/120VAC on demand)

FEATURES

FREEZSTOP ULTIMO is an industrial grade, self-regulating heating tape that can be used for applications ranging from process heating or maintenance of temperatures up to 200°C.

It can be cut to length on site and exact piping lengths can be matched without any complicated design considerations.

FREEZSTOP ULTIMO is used where high temperatures are required (up to 200°C) or where the heater must be capable of withstanding high exposure temperatures (up to 250°C* un-energised).

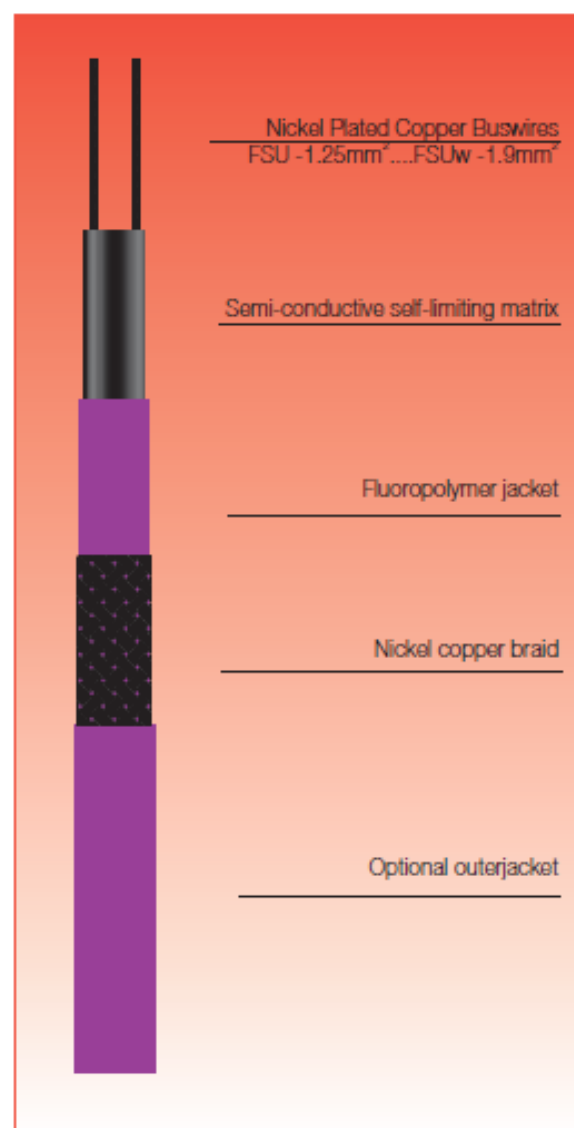
Its self-regulating characteristics improve safety and reliability. FREEZSTOP ULTIMO will not overheat or burnout.

The installation of FREEZSTOP ULTIMO heating tape is quick and simple and requires no special skills or tools. Termination, splicing and power connection components are all provided in convenient kits.

* 240°C only in hazardous areas

OPTIONS

- | | |
|---------|---|
| FSU | Unbraided base heater protected against corrosive chemical solutions and vapours. Heaters must have additional protection from mechanical damage in service. |
| FSU..N | Nickel plated braid for where traced equipment does not provide an effective earth path, eg. plastic pipework. Heaters must have additional protection from mechanical damage in service. |
| FSU..NF | Fluoropolymer outerjacket over nickel plated braid provides additional protection where corrosive chemical solutions or vapours may be present. |



SPECIFICATION

MAXIMUM CONTINUOUS TEMPERATURE (energised) 200°C (392°F)

MAXIMUM PERMISSIBLE EXPOSURE TEMPERATURE 250°C (482°F)*
*240°C only in hazardous areas

MINIMUM INSTALLATION TEMPERATURE -40°C (-40°F)

POWER SUPPLY 220 - 240 VAC
(110 - 120 VAC on demand)

MAXIMUM RESISTANCE OF PROTECTIVE BRAIDING 18.2 Ohm/km

WEIGHTS & DIMENSIONS

Type Ref	Nom. Dims. (mm)	Weight kg/100m	Min. Bending radius @ -20°C	Gland Size
FSU	10.4 x 3.4	7.6	20 mm	M20
FSU..N	11.4 x 4.4	11.7	25 mm	M20
FSU..NF	12.2 x 5.2	15.4	30 mm	M20
FSUw	12.4 x 3.4	9.5	20 mm	M20
FSUw..N	13.4 x 4.4	13.7	25 mm	M20
FSUw..NF	14.2 x 5.2	17.7	30 mm	M20

N denotes nickel plated copper braid

APPROVAL DETAILS

Testing Authority	Certificate No.	Standard
CENELEC	Ex	EN60079-0/EN60079-7
ATEX	Ex	02ATEX3012 EN60079-0/EN60079-7 IEC62086
CSA	SP	1295278 C22.2 No. 130.1 C22.2 No. 130.2 C22.2 No. 138

Standard Area Approval Zone 1 and Zone 2

ORDERING INFORMATION

Example 45 FSU 2-NF

Output 45W/m at 10°C ————

FREESTOP ULTIMO ————

Supply Voltage 220 - 240V AC ————

Nickel Plated Copper Braid ————

Fluoropolymer Outer Jacket ————

ACCESSORIES

Heat Trace supply a complete range of accessories including termination/splice kits, end seals, junction boxes and controls. Such items carry separate approvals from the heating tapes.

FURTHER INFORMATION

Please consult the appropriate termination instructions and the Heat Trace Installation, Maintenance and Testing Manual (MEHT010) for further details.

MAXIMUM LENGTH (m) vs. CIRCUIT BREAKER SIZE

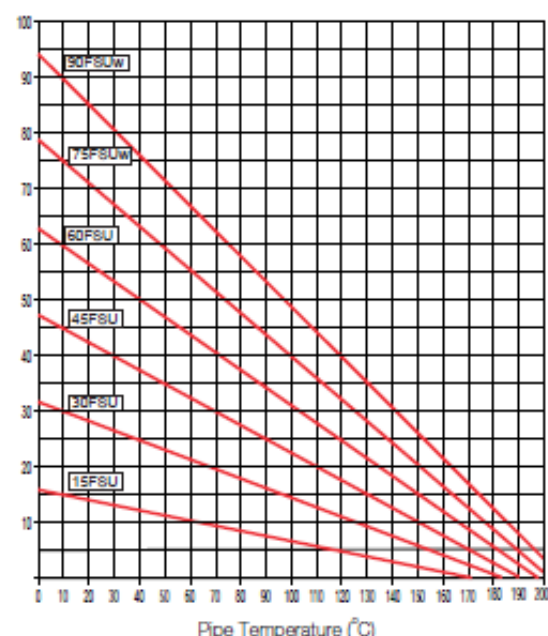
Cat Ref	Start-up Temp	230V					
		6A	10A	16A	20A	25A	32A
15FSU	10°C	48	78	126	154	-	-
	0°C	46	76	120	150	154	-
	-20°C	40	68	108	136	154	-
30FSU	10°C	30	52	82	102	108	-
	0°C	30	48	78	96	108	-
	-20°C	26	44	70	88	108	-
45FSU	10°C	24	38	62	78	88	-
	0°C	22	36	58	74	88	-
	-20°C	20	34	52	66	82	88
60FSU	10°C	18	30	50	62	76	-
	0°C	18	30	46	58	72	76
	-20°C	16	26	42	52	66	76
75FSUw	10°C	16	26	42	52	64	82
	0°C	14	24	40	48	60	78
	-20°C	14	22	36	44	54	70
90FSUw	10°C	12	22	34	42	54	68
	0°C	12	20	32	40	50	64
	-20°C	10	18	30	36	46	58

For use with Type C circuit breakers to BS EN60898:1991

THERMAL RATINGS

Nominal output at 230V when FSU is installed on insulated metal pipes.

W/m



HEAT TRACE™
SETTING THE STANDARD LEADING THE WAY

Mere's Edge, Chester Road, Helsby, Frodsham, Cheshire, WA6 0DJ, UK
Tel: +44 (0)1928 726 451 Fax: +44 (0)1928 727 846 <http://www.heat-trace.com>

The information given herein, including drawings, illustrations and schematics (which are intended for illustration purposes only), is believed to be reliable. However, Heat Trace Ltd makes no warranties as to its accuracy or completeness and disclaims any liability in connection with its use. Users of Heat Trace Ltd products should make their own evaluation to determine the suitability of each such product for specific applications. In no way will Heat Trace Ltd be liable for any damages arising out of the misuse, resale or use of the product.



Electrical heating cable for specialised process heating, or temperature maintenance, where high withstand temperatures are required up to 300°C.

Patents Granted

ALUMINIUM FAILSAFE

300°C Self-Regulating Heating Cable

- *Failsafe, automatically adjusts heat output in response to increasing or decreasing temperature*
- *Max exposure temperature 300°C*
- *Can be cut-to-length with no wastage*
- *Will not overheat or burnout, even when overlapped*
- *Unique to Heat Trace Limited*
- *High power outputs up to 120W/m*

FEATURES

AFS is a unique industrial grade, self-regulating heating cable that can be used on high temperature applications where the heater needs to withstand temperatures up to 300°C.

The electrical resistance of the positive temperature coefficient (PTC) heating matrix increases with temperature causing a reduction in power output. This results in a temperature FAILSAFE cable that does not rely on external temperature controls.

It can be cut-to-length on site to exact dimensions without any complicated design considerations.

AFS is suitable for use in safe (non-hazardous) or hazardous environments in accordance with IEC EN60079-30.

Its self-regulating characteristics improve safety and reliability. Unlike other high temperature tracers that require temperature controls to ensure temperature safety, AFS will not overheat or burnout, even when overlapped upon itself.

The installation of AFS heating cable is quick and simple and requires no special skills or tools. Termination, splicing and power connection components are all provided in convenient kits.

APPLICATION

AFS is a high power and high temperature self-regulating heating cable for specialised process heating, or temperature maintenance, where high withstand temperatures are required, without the need for external temperature controls.



SPECIFICATION

MAXIMUM ENERGISED TEMPERATURE 250°C (482°F)

MAXIMUM EXPOSURE TEMPERATURE 300°C (590°F)

MINIMUM INSTALLATION TEMPERATURE -30°C (-22°F)
CENELEC -20°C (-4°F)

POWER SUPPLY 220 - 277 VAC
(other voltages available)

WEIGHTS & DIMENSIONS

Type Ref	Nom. Dims. (mm)	Weight kg/100m	Min. Bending radius @ -20°C	Gland Size
AFS	12.8 x 6.0	16.5	50mm	M20

APPROVAL DETAILS Pending - Details on request

ORDERING INFORMATION

Example

Output 60W/m at 10°C

ALUMINIUM FAILSAFE

Supply Voltage 220 - 240V AC

60AFS2

ACCESSORIES

Heat Trace supply a complete range of accessories including termination/splice kits, end seals, junction boxes and controls. Such items carry separate approvals from the heating tapes. When used in hazardous areas, only use approved components.

FURTHER INFORMATION

Please consult the appropriate termination instructions and the Heat Trace Installation, Maintenance and Testing Manual (IMEHT010) for further details.

MAXIMUM LENGTH (m) vs. CIRCUIT BREAKER SIZE

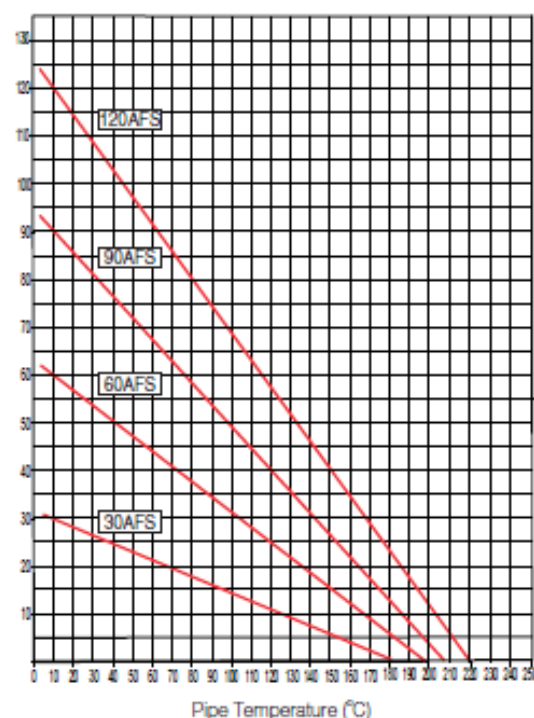
Cat Reference	Start-up Temperature	20A	32A	230V 40A
30AFS	10°C	76	108	
60AFS	10°C	52	76	
90AFS	10°C	38	62	
120AFS	10°C	30	50	62

For use with Type C circuit breakers to BS EN60898:1991

THERMAL RATINGS

Nominal output at 230V when AFS is installed on insulated metal pipes.

W/m



HEAT TRACE™
SETTING THE STANDARDS LEADING THE WAY

Mere's Edge, Chester Road, Helsby, Frodsham, Cheshire, WA6 0DU, UK
Tel: +44 (0)1928 726 451 Fax: +44 (0)1928 727 846 <http://www.heat-trace.com>

The information given herein, including drawings, illustrations and schematics (which are intended for illustration purposes only), is believed to be reliable. However, Heat Trace Ltd makes no warranties as to its accuracy or completeness and disclaims any liability in connection with its use. Users of Heat Trace Ltd products should make their own evaluation to determine the suitability of each such product for specific applications. In no way will Heat Trace Ltd be liable for any damages arising out of the misuse, resale or use of the product.

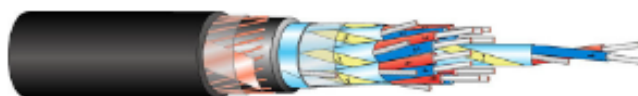
HTP0545.0.05X06

REKA
C A B L E S

REKO

05.09.2005 JyKos

DATASHEET



KJAAM-RV

Individually and collective screened instrumentation cable
with concentric conductor

75 V

IEC 60332-1

EN 50265-2-1

Flame retardant

Applications

For fixed installation, indoor, outdoor.

Instrumentation, process control and audio systems.

Direct burial in soil is allowed, as long as the relevant national rules of installations are followed.

Cable gives excellent protection against electric field.

Especially for use in Intrinsically safe circuits (then, colour of the sheath can be light blue).

Also when required metallic screen or mechanical stronger cable.

Max. operating temperature $+70^{\circ}\text{C}$

Min. handling temperature -10°C

Min. bending radius, installation $15 \times D$

Final installation only one bending $10 \times D$ (D = overall diameter)

Max. Pulling force when pulling the conductor $A \times 50 \text{ N/mm}^2$ (A =total area of conductors)

Construction

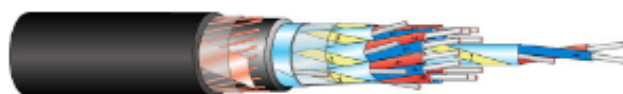
Conductor:	Solid, annealed tinned copper (IEC 60228 cl. 1)
Insulation:	Extruded polyolefin
Pairs:	Cores twisted in pairs.
Identification:	Coloured cores in pair: blue, red Sequential numbered polyester film in each pair
Individual screen:	Aluminium-mylar tape (IAM) and eathing conductor (tinn. copper 7x0,3 mm)
Cabling:	Screeded pairs twisted together in concentric layers
Collective Screen:	Aluminium-mylar tape (CAM) and eathing conductor (tinn. copper 7x0,3 mm)
Inner sheat	Extruded polyolefin
Concentric conductor	Copper wires and copper tape
Outer sheath:	Extruded leadfree PVC, colour black or light blue

Electrical properties:	Testing voltage	1kV/AC
	Pair d.c.-resistance ($+20^{\circ}\text{C}$)	max 81 ohm/km
	Pair capacitance (800 Hz)	app. 80 nF/km
	Insulation resistance (500V)	min. 2 G ohm x km
	Concentric conductor resistance:	max. 7,41 ohm/km (2,5 mm ²) max. 3,08 ohm/km (6 mm ²)

KJAAM-RV



05.09.2005 JyKos

**DATASHEET****KJAAM-RV**

Individually and collective screened instrumentation cable
with concentric conductor

75 V

IEC 60332-1

EN 50265-2-1

Flame retardant

Frequency	Attenuation	Cross-talk
kHz	dB/100m	dB
10	0,7	80
30	0,8	80
50	0,9	80
100	0,9	80
200	1,4	80
1000	3,5	80
5000	7,5	40
10000	9,0	35

REKA Code	Size	Conductor diameter	Overall diameter under sheath approx.	Overall diameter approx.	Approx. weight
	mm ²	mm	mm	mm	kg/km
*) 1125985	2x(2+1)x0,5/2,5	0,8	9,0	11,0	115
*) 1125986	4x(2+1)x0,5/2,5	0,8	10,5	12,0	165
**) 1125999	4x(2+1)x0,5/2,5	0,8	10,5	12,0	165
*) 1125998	8x(2+1)x0,5/2,5	0,8	16,0	18,0	300
*) 1125991	12x(2+1)x0,5/6	0,8	17,0	19,0	400
**) 1125995	12x(2+1)x0,5/6	0,8	17,0	19,0	400
*) 1125992	24x(2+1)x0,5/6	0,8	24,0	27,0	700
**) 1125996	24x(2+1)x0,5/6	0,8	24,0	27,0	700
*) 1125994	48x(2+1)x0,5/6	0,8	33,0	36,0	1250

*) black outersheath

**) blue outersheath

Other KJAAM-products

KJAAM	Halogenfree instrumentation cable, with EMC-shield
KJAAM-ARM	Halogenfree, double steeltape armour, with EMC-shield
KJAAM-OHJ	With tinned solid conductor

KJAAM-RV

Taulukko 1

Putken lämpöhäviöt

Eristepaksuus (mm)	ΔT (°C)	Putkikoko		8 1/8	15 1/2	20 3/4	25 1	32 1 1/4	40 1 1/2	50 2	
		NS (mm)	NS (tuumaa)								
		Ulkohal- kaisija (mm)									
		14	21	27	34	42	48	60			
20	20	4.0	4.6	5.3	6.2	7.3	8.0	9.5			
	30	6.2	7.0	8.1	9.4	11.1	12.2	14.5			
	40	8.3	9.5	10.9	12.7	15.0	16.5	19.6			
	60	12.8	14.7	16.9	19.6	23.1	25.5	30.2			
30	20	3.3	3.7	4.2	4.8	5.5	6.1	7.1			
	30	5.0	5.6	6.3	7.3	8.4	9.2	10.8			
	40	6.7	7.6	8.6	9.8	11.4	12.5	14.6			
	60	10.3	11.7	13.2	15.1	17.6	19.2	22.5			
	80	14.2	16.0	18.2	20.8	24.1	26.4	30.9			
	100	18.3	20.7	23.4	26.8	31.1	34.1	39.8			
	120	22.7	25.6	29.0	33.2	38.6	42.2	49.3			
	40	20	2.8	3.2	3.6	4.0	4.6	5.0	5.8		
30		4.3	4.8	5.4	6.1	7.0	7.7	8.9			
40		5.8	6.5	7.3	8.3	9.5	10.4	12.0			
60		9.0	10.1	11.3	12.8	14.7	16.0	18.5			
	80	12.3	13.8	15.5	17.6	20.2	21.9	25.4			
	100	15.9	17.8	20.0	22.7	26.0	28.3	32.8			
	120	19.7	22.1	24.8	28.1	32.2	35.1	40.6			
	140	23.7	26.5	29.8	33.8	38.8	42.2	48.8			
50	30	3.9	4.3	4.8	5.4	6.2	6.7	7.7			
	40	5.3	5.9	6.5	7.3	8.4	9.1	10.4			
	60	8.1	9.0	10.1	11.3	12.9	14.0	16.0			
	80	11.2	12.4	13.8	15.5	17.7	19.1	22.0			
	100	14.4	16.0	17.8	20.1	22.8	24.7	28.4			
	120	17.8	19.8	22.1	24.8	28.3	30.6	35.1			
	140	21.5	23.8	26.6	29.9	34.0	36.8	42.3			
	160	25.3	28.1	31.3	35.2	40.1	43.4	49.8			
	180	29.2	32.5	36.2	40.7	46.4	50.2	57.6			
	80	30	3.2	3.5	3.9	4.3	4.8	5.2	5.8		
		40	4.4	4.8	5.2	5.8	6.5	7.0	7.9		
		60	6.7	7.4	8.1	9.0	10.0	10.8	12.1		
80		9.2	10.1	11.1	12.3	13.8	14.8	16.6			
	100	11.9	13.0	14.3	15.9	17.8	19.1	21.5			
	120	14.7	16.1	17.8	19.7	22.0	23.6	26.6			
	140	17.7	19.4	21.4	23.6	26.5	28.4	32.0			
	160	20.9	22.9	25.1	27.8	31.2	33.4	37.7			
	180	24.2	26.5	29.1	32.2	36.1	38.7	43.7			
	100	40	4.0	4.4	4.8	5.3	5.8	6.2	7.0		
		60	6.2	6.7	7.4	8.1	9.0	9.6	10.8		
		80	8.5	9.2	10.1	11.1	12.4	13.2	14.8		
100		11.0	11.9	13.0	14.4	16.0	17.0	19.1			
	120	13.6	14.8	16.2	17.8	19.8	21.1	23.6			
	140	16.3	17.8	19.4	21.4	23.8	25.4	28.4			
	160	19.2	20.9	22.9	25.2	28.0	29.9	33.4			
	180	22.2	24.2	26.5	29.2	32.4	34.6	38.7			
120	60	5.8	6.3	6.8	7.5	8.3	8.8	9.8			
	80	8.0	8.6	9.4	10.3	11.4	12.1	13.5			
	100	10.3	11.2	12.1	13.3	14.7	15.6	17.4			
	120	12.7	13.8	15.0	16.5	18.2	19.3	21.5			
	140	15.3	16.6	18.1	19.8	21.9	23.3	25.9			
	160	18.0	19.6	21.3	23.3	25.8	27.4	30.5			
	180	20.9	22.6	24.6	27.0	29.8	31.7	35.3			
	150	80	7.4	8.0	8.6	9.4	10.3	10.9	12.1		
100		9.5	10.3	11.1	12.1	13.3	14.1	15.6			
120		11.8	12.7	13.8	15.0	16.5	17.5	19.3			
140		14.2	15.3	16.6	18.1	19.9	21.0	23.3			
	160	16.7	18.1	19.5	21.3	23.4	24.8	27.4			
	180	19.4	20.9	22.6	24.6	27.1	28.7	31.7			

Eristekertoimet	Eristekourun materiaali	Eristekerroin (f)	Lämmönjohtavuus 10 °C lämpötilassa (W/m °C)
	Lasivilla	1.0	0.036
	Mineraalivilla	1.06	0.038
	Mineraalivillamatto	1.20	0.043
	Vaahtomuovi	1.17	0.042
	Polyuretaani	0.67	0.024
	Kalsiumsilikaatti	1.50	0.054
	Lasivaahhto	1.61	0.058

Putken lämpöhäviöt (Q_b) W/m.

Taulukko antaa lasivillalla eristetyn metalliputken lämpöhäviöt.
Putki ulkona, tuulen nopeus 9 m/s. Varmuuskerroin 1,1.

65	80	100	150	200	250	300	350	400	450	500	600
2 1/2	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20	24
76	89	114	168	219	273	324	356	406	457	508	610
11.1	13.0	16.0	22.5	28.5	34.9	40.9	44.7	50.7	56.7	62.6	74.6
16.8	19.8	24.4	34.2	43.4	53.2	62.3	68.0	77.1	86.2	95.3	113.4
22.8	26.7	33.0	46.3	58.7	71.9	84.2	92.0	104.3	116.6	128.9	153.4
35.1	41.2	50.9	71.4	90.5	110.8	129.9	141.8	160.8	179.7	198.7	236.5
8.1	9.5	11.6	15.9	20.1	24.4	28.5	31.0	35.1	39.2	43.2	51.3
12.4	14.4	17.6	24.3	30.5	37.1	43.3	47.2	53.4	59.6	65.8	78.1
16.8	19.5	23.8	32.8	41.3	50.2	58.6	63.8	72.2	80.6	88.9	105.6
25.9	30.0	36.6	50.6	63.6	77.4	90.4	98.4	111.4	124.3	137.1	162.9
35.5	41.2	50.3	69.4	87.3	106.3	124.0	135.1	152.9	170.6	188.3	223.6
45.8	53.2	65.0	89.7	112.8	137.2	160.2	174.5	197.4	220.3	243.1	288.7
56.7	65.9	80.4	111.0	139.6	169.9	198.3	216.1	244.4	272.8	301.0	357.5
6.6	7.6	9.2	12.6	15.7	19.0	22.1	24.0	27.1	30.2	33.3	39.4
10.1	11.6	14.1	19.1	23.9	28.9	33.6	36.6	41.3	45.9	50.6	60.0
13.7	15.7	19.0	25.9	32.3	39.1	45.5	49.4	55.8	62.1	68.5	81.1
21.1	24.3	29.3	39.9	49.8	60.3	70.1	76.2	86.0	95.8	105.6	125.1
28.9	33.3	40.2	54.8	68.4	82.7	96.2	104.6	118.1	131.5	144.9	171.7
37.3	43.0	52.0	70.8	88.3	106.8	124.2	135.1	152.4	169.8	187.1	221.7
46.2	53.3	64.4	87.6	109.3	132.3	153.9	167.3	188.8	210.3	231.7	274.5
55.6	64.1	77.4	105.4	131.5	159.1	185.1	201.3	227.1	252.9	278.7	330.2
8.7	9.9	11.9	16.0	19.9	23.9	27.7	30.1	33.9	37.6	41.4	48.9
11.8	13.4	16.1	21.7	26.9	32.3	37.5	40.7	45.8	50.9	56.0	66.2
18.1	20.7	24.8	33.4	41.4	49.9	57.8	62.7	70.6	78.5	86.3	102.1
24.9	28.5	34.1	45.9	56.8	68.4	79.3	86.1	96.9	107.7	118.5	140.1
32.1	36.7	44.0	59.2	73.4	88.3	102.4	111.1	125.1	139.1	153.0	180.9
39.8	45.5	54.5	73.3	90.9	109.4	126.8	137.6	154.9	172.2	189.5	224.0
47.9	54.7	65.6	88.2	109.3	131.6	152.5	165.5	186.4	207.2	227.9	269.4
56.3	64.4	77.2	103.9	128.7	154.9	179.5	194.9	219.4	243.9	268.3	317.2
65.2	74.6	89.4	120.3	149.0	179.4	207.9	225.6	254.0	282.4	310.7	367.2
6.5	7.3	8.6	11.3	13.7	16.3	18.7	20.2	22.6	25.0	27.4	32.1
8.8	9.9	11.6	15.2	18.5	22.0	25.3	27.3	30.6	33.8	37.0	43.5
13.5	15.3	17.9	23.5	28.6	34.0	39.0	42.1	47.1	52.1	57.1	67.0
18.6	20.9	24.6	32.2	39.2	46.6	53.5	57.8	64.7	71.5	78.3	92.0
24.0	27.0	31.8	41.6	50.6	60.2	69.1	74.6	83.5	92.3	101.2	118.8
29.7	33.5	39.3	51.5	62.7	74.5	85.5	92.4	103.4	114.3	125.3	147.1
35.7	40.3	47.3	61.9	75.4	89.6	102.9	111.2	124.4	137.5	150.7	176.9
42.1	47.4	55.7	72.9	88.8	105.5	121.1	130.9	146.4	161.9	177.4	208.3
48.7	54.9	64.5	84.4	102.8	122.2	140.3	151.5	169.5	187.5	205.4	241.2
7.7	8.7	10.1	13.0	15.7	18.5	21.2	22.8	25.4	28.0	30.6	35.8
11.9	13.3	15.5	20.1	24.2	28.6	32.6	35.1	39.2	43.2	47.2	55.2
16.4	18.3	21.3	27.5	33.2	39.2	44.8	48.2	53.8	59.3	64.8	75.7
21.1	23.6	27.5	35.5	42.9	50.6	57.8	62.3	69.4	76.5	83.6	97.8
26.2	29.3	34.1	44.0	53.1	62.7	71.6	77.1	86.0	94.8	103.6	121.1
31.5	35.2	41.0	52.9	63.9	75.4	86.1	92.8	103.4	114.0	124.6	145.7
37.1	41.5	48.3	62.3	75.2	88.7	101.4	109.2	121.7	134.2	146.7	171.5
42.9	48.0	55.9	72.2	87.1	102.7	117.4	126.4	140.9	155.4	169.8	198.6
10.8	12.0	13.9	17.7	21.3	24.9	28.3	30.5	33.8	37.2	40.6	47.3
14.8	16.5	19.1	24.3	29.2	34.2	38.9	41.8	46.4	51.0	55.7	64.8
19.2	21.3	24.6	31.4	37.7	44.1	50.2	54.0	60.0	65.9	71.9	83.7
23.7	26.4	30.5	38.9	46.6	54.7	62.2	66.8	74.2	81.6	89.0	103.7
28.6	31.8	36.7	46.8	56.1	65.8	74.8	80.4	89.3	98.2	107.1	124.7
33.6	37.4	43.2	55.1	66.0	77.4	88.0	94.6	105.1	115.6	126.0	146.9
38.9	43.3	50.1	63.8	76.5	89.6	101.9	109.6	121.7	133.9	145.9	170.0
13.2	14.6	16.8	21.1	25.0	29.1	32.9	35.2	39.0	42.7	46.4	53.8
17.1	18.9	21.6	27.2	32.3	37.6	42.5	45.5	50.3	55.1	59.9	69.5
21.2	23.4	26.8	33.7	40.0	46.5	52.6	56.3	62.3	68.3	74.2	86.1
25.5	28.1	32.2	40.6	48.1	56.0	63.2	67.8	75.0	82.1	89.3	103.5
30.0	33.1	38.0	47.7	56.6	65.9	74.5	79.8	88.3	96.7	105.1	121.9
34.7	38.4	44.0	55.3	65.6	76.3	86.2	92.4	102.2	112.0	121.7	141.1

Venttiilien lämpöhäviökertoimet

Venttiilityypit

Lämpöhäviökerroin

Luisti	1.3
Läppä	0.7
Pallo	0.8
Istukka	1.2

Venttiilin lämpöhäviö = Q_v (putken häviö) x venttiilityypin lämpöhäviökerroin.